

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

**CARRERA:
INGENIERÍA CIVIL**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:
INGENIERO CIVIL**

**TEMA:
MANUAL DE PRÁCTICAS VIRTUALES DE LABORATORIO,
APLICANDO MODELACIÓN NUMÉRICA (CFD) PARA USO EN LAS
ASIGNATURAS DE MECÁNICA DE FLUIDOS E HIDRÁULICA
APLICADA**

**AUTOR:
DIEGO JAVIER QUISHPE SONGOR**

**TUTOR:
FREDDY ISRAEL RODRÍGUEZ BADILLO**

Quito, agosto del 2021

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo, Diego Javier Quishpe Songor, con documento de identificación N° 172354518-0, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del trabajo de titulación titulado: MANUAL DE PRÁCTICAS VIRTUALES DE LABORATORIO, APLICANDO MODELACIÓN NUMÉRICA (CFD) PARA USO EN LAS ASIGNATURAS DE MECÁNICA DE FLUIDOS E HIDRÁULICA APLICADA, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Civil, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, agosto del 2021



Diego Javier Quishpe Songor

C.I:172354518-0

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR

Yo, declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el proyecto técnico, con el tema: MANUAL DE PRÁCTICAS VIRTUALES DE LABORATORIO, APLICANDO MODELACIÓN NUMÉRICA (CFD) PARA USO EN LAS ASIGNATURAS DE MECÁNICA DE FLUIDOS E HIDRÁULICA APLICADA, realizado por Diego Javier Quishpe Songor, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerado como trabajo final de titulación.

Quito, agosto del 2021



.....

Ing. Rodríguez Badillo Freddy Israel

C.I: 1720094026

DEDICATORIA

Con gran entusiasmo, dedico el presente trabajo a mi familia.

A mis queridos padres Segundo Quishpe y Raquel Songor, por brindarme un apoyo incondicional durante toda mi vida, además de ser quienes me ha dado amor incondicional y han sacrificado mucho por mi bien, para ser un hombre de provecho para la sociedad.

A mi hermana Johanna Quishpe, la cual ha estado siempre para brindarme consejos sobre la vida y darme un claro ejemplo de la vida y de los valores que debe tener un profesional.

A mi sobrina Melanie Cadena, a la cual con su inocencia y ocurrencias me animo durante tiempos de duda e incertidumbre.

A mis primos David Quishpe y Daniel Quishpe, los cuales han estado presentes para darme apoyo y escuchar mis problemas.

A mis tíos Fausto Quishpe y Fanny Songor, quienes me han apoyado durante momentos difíciles y me han sabido aconsejar durante ciertos episodios de mi vida.

Diego

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios, por dotarme de salud y haberme permitido terminar este trabajo de titulación y brindar salud a toda mi familia para que estén presentes, brindándome su amor, comprensión y apoyo durante las diferentes facetas de mi vida, en especial a mis padres Segundo Quishpe y Raquel Songor y a mis tíos Fausto Quishpe y Fanny Songor, gracias a su presencia y apoyo he logrado alcanzar este sueño.

A mis primos David y Daniel Quishpe, que ha estado siempre para brindarme su apoyo y comprensión.

Diego

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO I

ANTECEDENTES Y GENERALIDADES	1
1.1.Introducción	1
1.2.Justificación.....	2
1.3.Objetivos	3
1.3.1.Objetivo General	3
1.3.2.Objetivos específicos:	3

CAPÍTULO II

DINÁMICA DE FLUIDOS COMPUTACIONAL.....	4
2.1.Justificación, uso y características de la dinámica de fluidos computacional.....	4
2.1.1.Campos de aplicación	6
2.1.2.Estructura de para un código CDF	6
2.1.3.Verificación del modelo numérico.....	8
2.2.Programa flow 3d.....	8
2.2.1.Ecuaciones que usa Flow 3D	9
2.2.1.1.Ecuación de continuidad de masa en Flow 3D	9
2.2.1.2.Ecuación de conservación de la cantidad de movimiento.....	10
2.2.1.3.Ecuación de conservación de la energía.....	11

CAPÍTULO III

FUNDAMENTOS DE LA HIDRÁULICA BÁSICA	12
3.1.Ecuaciones fundamentales	12
3.1.1.Ecuación de continuidad	12
3.1.2.Ecuación de Bernoulli	13
3.1.3.Número de Reynolds.....	13
3.1.4.Formula de Darcy-Weisbach.....	14
3.1.5.Ecuación de conservación de movimiento	17
3.1.6.Ecuaciones de Euler	18
3.1.7.Empuje hidrostático sobre superficies planas y curvas	20
3.1.8.Bocatomas	22
3.2.Orificios	23
3.2.1.Definición.....	23
3.2.2.Obtención de la velocidad teórica	23
3.2.3.Ecuación del caudal o gasto para orificios	24
3.2.4.Coeeficientes de velocidad, contracción y gasto para orificios de pared gruesa y delgada	24
3.2.5.Clasificación de los orificios	26
3.3.Compuertas	29
3.3.1.Definición.....	29
3.3.2.Ecuación de gasto para una compuerta plana	30
3.3.3.Tipos de descarga.....	32
3.4.Vertederos	32
3.4.1.Definición.....	32
3.4.2.Clasificación de los vertederos.....	32

CAPÍTULO IV

ESTRUCTURAS HIDRÁULICAS A MODELAR.....	39
4.1.Descripción de las estructuras hidráulicas	39
4.1.1.Orificios	39
4.1.2.Presión hidrostática	43
4.1.3.Vertederos	48

4.1.4.Bocatoma.....	53
4.1.5.Compuertas	54
CAPÍTULO V	
MANUAL DE PRÁCTICAS VIRTUALES Y GUÍA DE MANEJO DEL PROGRAMA FLOW 3D.....	56
ÍNDICE 1	
INTRODUCCIÓN	1
PRÁCTICA N°1	2
TEMA: INTRODUCCIÓN AL FLOW 3D	2
Ejemplo de práctica N° 1	34
Hoja de resultados	34
Práctica N° 1	
Hoja de resultados	37
PRÁCTICA N°2	38
TEMA: ORIFICIOS DE PARED DELGADA Y GRUESA	38
Ejemplo de práctica N° 2	55
Hoja de resultados	55
Práctica N° 2 60	
Hoja de resultados	60
PRÁCTICA N°3	64
TEMA: VERTEDEROS DE PARED ANCHA, DELGADA Y TIPO WES	64
Ejemplo de práctica N° 3	80
Hoja de resultados	80
Práctica N° 3 89	
Hoja de resultados	89
PRÁCTICA N°4	94
TEMA: PRESIONES HIDROSTÁTICAS	94
Ejemplo de práctica N° 4	103
Hoja de resultados	103
Práctica N° 4	
Hoja de resultados	109
PRÁCTICA N°5	113
TEMA: COMPUERTAS	113
Ejemplo de práctica N° 5	120
Hoja de resultados	120
Práctica N° 5	
Hoja de resultados	125
PRÁCTICA N°6	129
TEMA: PÉRDIDAS DE CARGA DE FLUJOS A PRESIÓN.....	129
Ejemplo de práctica N° 6	139
Hoja de resultados	139
Práctica N° 6	
Hoja de resultados	146
CONCLUSIONES.....	149
RECOMENDACIONES.....	153
REFERENCIAS	154

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: <i>Coeficientes de pérdida por reducción gradual de ángulo θ, según Kisieliev</i>	17
Ejemplo de práctica N°2-Resultados	
Tabla 1: <i>Orificio de pared gruesa</i>	55
Tabla 2: <i>Orificio de pared delgada</i>	55
Tabla 3: <i>Orificio de pared gruesa y pared delgada</i>	56
Tabla 4: <i>Tabla de resumen</i>	57
Práctica N°2-Resultados	
Tabla 1: <i>Orificio de pared gruesa</i>	60
Tabla 2: <i>Orificio de pared delgada</i>	60
Tabla 3: <i>Orificio de pared gruesa y pared delgada</i>	61
Tabla 4: <i>Tabla de resumen</i>	61
Ejemplo de práctica N°3-Resultados	
Tabla 1: <i>Vertedero de pared delgada</i>	80
Tabla 2: <i>Vertedero de pared gruesa</i>	81
Tabla 3: <i>Vertedero WES</i>	81
Tabla 1: <i>Vertedero de pared delgada</i>	82
Tabla 3: <i>Vertedero WES</i>	83
Tabla 4: <i>Tabla de resumen</i>	83
Práctica N°3-Resultados	
Tabla 1: <i>Vertedero de pared delgada</i>	89
Tabla 2: <i>Vertedero de pared gruesa</i>	90
Tabla 3: <i>Vertedero WES</i>	90
Tabla 1: <i>Vertedero de pared delgada</i>	91
Tabla 2: <i>Vertedero de pared gruesa</i>	91
Tabla 3: <i>Vertedero WES</i>	92
Ejemplo de práctica N°4-Resultados	
Tabla 1: <i>Superficie plana vertical</i>	103
Tabla 2: <i>Superficie plana inclinada</i>	104
Tabla 3: <i>Superficie curva</i>	104
Tabla 4: <i>Tabla de resumen</i>	105
Práctica N°4-Resultados	
Tabla 1: <i>Superficie plana vertical</i>	109
Tabla 2: <i>Superficie plana inclinada</i>	110
Tabla 3: <i>Superficie curva</i>	110
Ejemplo de práctica N°5-Resultados	
Tabla 1: <i>Compuerta 1</i>	120
Tabla 2: <i>Compuerta 2</i>	121
Tabla 1: <i>Compuerta 1</i>	121
Tabla 2: <i>Compuerta 2</i>	122

Práctica N°5-Resultados

Tabla 1: <i>Compuerta 1</i>	125
Tabla 2: <i>Compuerta 2</i>	127
Tabla 1: <i>Coefficientes de pérdida por reducción gradual de ángulo θ, según Kisieliev</i>	133

Ejemplo de práctica N°6-Resultados

Tabla 1: <i>Tubería</i>	139
Tabla 1: <i>Tubería</i>	140

Práctica N°6-Resultados

Tabla 1: <i>Tubería</i>	146
Tabla 1: <i>Tubería</i>	147

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: <i>Estructura del código CFD</i>	8
Figura 2: <i>Principio de continuidad</i>	12
Figura 3: <i>Resistencia al flujo por cambios de presión</i>	16
Figura 4: <i>Equilibrio de una partícula en un fluido en reposo</i>	18
Figura 5: <i>Empuje hidrostático sobre superficies planas</i>	21
Figura 6: <i>Empuje hidrostático sobre superficie curvas</i>	22
Figura 7: <i>Esquema de un orificio de pared delgada</i>	23
Figura 8: <i>Variación de coeficientes de velocidades, contracción y gasto en función de Reynolds en un orificio circular</i>	25
Figura 9: <i>Descarga libre</i>	26
Figura 10: <i>Descarga sumergida</i>	27
Figura 11: <i>Orificio de pared delgada</i>	28
Figura 12: <i>Orificio de pared gruesa</i>	28
Figura 13: <i>Compuerta plana</i>	30
Figura 14: <i>Vertedero de pared delgada</i>	33
Figura 15: <i>Vertedero de pared ancha</i>	35
Figura 16: <i>Vertedero tipo WES</i>	37
Figura 17: <i>Coefficiente de descarga de un vertedero con pared vertical aguas arriba</i>	38
Figura 18: <i>Geometría de un orificio de pared delgada</i>	39
Figura 19: <i>Geometría de un orificio de pared delgada</i>	40
Figura 20: <i>Modelo 3D de un orificio de pared gruesa</i>	41
Figura 21: <i>Geometría de un orificio de pared gruesa</i>	41
Figura 22: <i>Geometría de un orificio de pared gruesa</i>	42
Figura 23: <i>Modelo 3D de una superficie vertical plana</i>	43
Figura 24: <i>Geometría superficie plana vertical</i>	43
Figura 25: <i>Geometría superficie plana vertical</i>	43
Figura 26: <i>Modelo 3D de una superficie curva</i>	45
Figura 27: <i>Geometría superficie curva</i>	45
Figura 28: <i>Modelo 3D de una superficie plana inclinada</i>	46

Figura 29: <i>Geometría superficie plana inclinada</i>	47
Figura 30: <i>Geometría vertedero de pared ancha</i>	48
Figura 31: <i>Modelo 3D de un vertedero de pared ancha</i>	49
Figura 32: <i>Modelo 3D de un vertedero de pared delgada</i>	50
Figura 33: <i>Geometría vertedero de pared delgada</i>	50
Figura 34: <i>Modelo 3D de un vertedero tipo WES</i>	51
Figura 35: <i>Geometría vertedero tipo WES</i>	52
Figura 36: <i>Geometría de una tubería</i>	53
Figura 37: <i>Modelo 3D de una tubería</i>	53
Figura 38: <i>Geometría canal-corte en el eje Y</i>	54
Figura 39: <i>Geometría canal-vista superior del canal</i>	55

RESUMEN

Este manual se desarrolló con la finalidad de presentar y ejecutar modelos numéricos básicos en el software conocido como Flow 3D dentro de los laboratorios virtuales de Mecánica de Fluidos e Hidráulica Aplicada, para complementar y reforzar lo aprendido en clase, el desarrollo del manual abarca un contenido teórico y una parte práctica ejemplificada para el manejo del software, además de incluir cierta retroalimentación para los estudiantes, con el fin de marcar las características que posee el software.

Con el manejo del programa Flow 3D, al estudiante se le presentará el concepto de la Dinámica de Fluidos Computacional o CFD, y un procedimiento sencillo para representar de manera numérica y gráfica el comportamiento de las estructuras hidráulicas.

Las estructuras hidráulicas presentadas en el manual de laboratorio son: orificios de pared delgada como gruesa, compuertas con descarga libre y sumergida, vertederos de pared delgada y gruesa con descarga libre y sumergida, vertedero tipo WES, bocatoma sumergida con conducción a presión y como complemento se añadió presiones hidrostáticas sobre paredes verticales, curva e inclinadas. Cada una de las estructuras hidráulicas mencionadas obtuvo una verificación práctica como una verificación dentro del software Flow 3D, presentando una consistencia en los resultados obtenidos de ambas formas.

Palabras clave: Flow 3D, modelación numérica, manual, práctica, Mecánica de Fluidos.

ABSTRACT

This manual was developed with the purpose of presenting and executing basic numerical models in the software known as Flow 3D within the virtual laboratories of Fluid Mechanics and Applied Hydraulics, to complement and reinforce what was learned in class, the development of the manual covers a theoretical content and an exemplified practical part for the handling of the software, besides including some feedback for the students, in order to mark the characteristics that the software has.

With the handling of the Flow 3D program, the student will be introduced to the concept of Computational Fluid Dynamics or CFD, and a simple procedure to represent numerically and graphically the behavior of hydraulic structures.

The hydraulic structures presented in the laboratory manual are: thin and thick wall orifices, gates with free and submerged discharge, thin and thick wall spillways with free and submerged discharge, WES type spillway, submerged intake with pressure conduction and as a complement, hydrostatic pressures on vertical, curved and inclined walls were added. Each of the mentioned hydraulic structures obtained a practical verification as a verification within the Flow 3D software, presenting a consistency in the results obtained in both ways.

Keywords: Flow 3D, numerical modeling, manual, practice, Fluid Mechanics.

CAPÍTULO I

ANTECEDENTES Y GENERALIDADES

1.1.Introducción

Con el crecimiento de la población también se presenta un aumento significativo de profesionales que salen año tras año de las universidades y entran en un mundo laboral competitivo, el cual premia a quien tenga un mayor conocimiento y presente un mayor desempeño laboral y no sea una carga más. Además, este mundo de creciente aumento tecnológico valora más a las personas que tienen ciertos conocimientos, en plataformas o softwares específicos, siendo estos más aventajados con respecto a los que no los poseen.

Con la finalidad de presentar a los estudiantes de manera práctica y didáctica el uso de Software Flow 3D e introducir el concepto de Dinámica de Fluidos Computacional o CFD , se presenta un manual que ejemplifica el uso de la Dinámica de Fluidos Computacional con ciertas estructuras hidráulicas como lo son: orificios de pared delgada y gruesa, compuertas con descarga libre y sumergida, vertederos de pared delgada y gruesa con descarga libre y sumergida, vertedero tipo WES, bocatoma sumergida con conducción a presión y como complemento, presiones hidrostáticas sobre paredes verticales, curva e inclinadas, se incluye una parte práctica bien detallada sobre el manejo del programa para las diferente estructuras hidráulicas mencionadas.

Con el uso de la parte teórica se obtuvo un conjunto de resultado para cada una de las estructuras hidráulicas mencionadas, que se complementa y verifica con el Software Flow 3D. Y se añade un seguimiento al estudiante con una evaluación de los resultados y análisis de las características que hacen factible o no el uso del Software Flow 3D.

1.2. Justificación

Dado el avance tecnológico de las computadoras se ha hecho posible resolver numéricamente las ecuaciones del flujo, al disponerse de equipos capaces de ejecutar gran número de operaciones en poca cantidad de tiempo, permitiendo al usuario resolver numéricamente distintos fenómenos hidráulicos y obtener una visualización del desarrollo del flujo.

La UPS siguiendo las actuales tendencias en hidráulica y al contar con la licencia del software Flow 3D, en el presente proyecto se propone el desarrollo de un manual enfocado al uso y aprendizaje de modelos numéricos básicos aplicando las leyes, principios y conceptos que complementen la visualización y entendimiento de los distintos fenómenos hidráulicos.

Adicionalmente se creará un manual donde el estudiante pueda consultar y aprender sobre el funcionamiento básico del programa Flow 3D y de las características que se presentan en distintas estructuras hidráulicas tales como: bocatoma sumergida con conducción a presión, orificios y compuertas con descarga libre y sumergida, vertederos de pared delgada y gruesa con descarga libre y sumergida y vertedero tipo WES. Como complemento se podrá evaluar las presiones hidrostáticas sobre paredes curvas e inclinadas.

1.3.Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Elaborar el manual para las prácticas de laboratorio virtual de Hidráulica en base a la ejecución de modelos numéricos para los estudiantes de la carrera de ingeniería civil empleando el software Flow 3D.

1.3.2. Objetivos específicos:

Modelar numéricamente el flujo en estructuras hidráulicas tales como: bocatoma sumergida con conducción a presión, orificios y compuertas con descarga libre y sumergida, vertederos de pared delgada y gruesa con descarga libre y sumergida y vertedero tipo WES mediante el uso de dinámica de fluidos computacional empleando el programa Flow 3D, con el fin de elaborar un manual de aplicación de prácticas virtuales de hidráulica.

Elaborar el manual de prácticas virtuales de hidráulica, explicando el comportamiento y características de las estructuras hidráulicas propuestas para el uso de los estudiantes de la Universidad Politécnica Salesiana.

CAPÍTULO II

DINÁMICA DE FLUIDOS COMPUTACIONAL

El uso de la dinámica de fluidos computacional está dirigida a emplear un ordenador para realizar el análisis de los sistemas que involucren el movimiento de fluidos, con el fin de obtener una respuesta aproximada de las ecuaciones que rigen el comportamiento de los fluidos (Barba, 2020, p. 79). Los fenómenos relacionados con los movimientos de los fluidos pueden ser descritos mediante las ecuaciones diferenciales de segundo orden que permiten obtener una respuesta aproximada al comportamiento real de los fenómenos a estudiar, estas ecuaciones representan las leyes de conservación de la masa, cantidad de movimiento y la energía para el flujo.

2.1. Justificación, uso y características de la dinámica de fluidos computacional

“El desarrollo de algoritmos y modelos que pueden representar los fenómenos que se desarrollan en los flujos, ha convertido a la CFD en una poderosa herramienta complementaria a la modelación física” (Barba, 2020), y las principales ventajas de esto es la reducción de tiempos y recursos, debido al uso de ordenadores capaces de realizar una gran cantidad de operaciones por unidad de tiempo, con esto se validan los datos obtenidos de forma experimental.

Para la obtención de los resultados se utiliza la simulación numérica la cual es un proceso iterativo que se ve facilitado por presencia de recursos tecnológicos que ayudan con el procesamiento de la información.

La simulación numérica es una herramienta de diseño que sirve para complementar los conocimientos teóricos y experimentales, mostrando ciertas ventajas tales como:

- En lo que respecta a la modelación física se presentan ciertas limitantes como es la escala a la que se puede construir y representar las estructuras hidráulicas,

empleando esta metodología se puede apreciar el comportamiento que pueden llegar a tener las estructuras, pero aún con este método no se puede obtener un funcionamiento real del prototipo. Por estos motivos una modelación numérica nos permite obtener de una manera más exacta el comportamiento del prototipo debido a que se puede usar sus dimensiones reales y no requiere ningún tipo de construcción previa.

- Nos permite simular situaciones especiales o situaciones muy difíciles de reproducir experimentalmente: obras hidráulicas de gran envergadura, obras con limitantes físicas o climatológicas.
- Aporta una calidad alta de detalle, limitada únicamente por la capacidad de procesamiento.
- Reduce de manera considerable los tiempos y costos de diseño con respecto a los modelos físicos.

Cabe notar que, debido al uso de ecuaciones de cierta complejidad, es requerido el uso de máquinas y supercomputadoras potentes, por este motivo, aunque se presente un software de uso comercial, se tiene que mantener presente que los códigos están basados en un conjunto de ecuaciones relacionadas entre sí que resuelven de manera iterativa los diferentes algoritmos, para dar al usuario la capacidad de resolver cualquier flujo dentro de una geometría prediseñada que limitamos con ciertas condiciones iniciales y de borde.

2.1.1. Campos de aplicación

La Dinámica de Fluidos Computacional, es usada en diferentes áreas tales como:

- **Aeroespacial**, con el análisis de la estructura aerodinámica de los vehículos espaciales.
- **Industria nuclear**, se realiza el análisis de los flujos provenientes de reacciones nucleares, como las condiciones de calor y de enfriamiento de los reactores.
- **Industria Naval**, se interesa en presentar las características de las hélices de propulsión y en diseño óptimo.
- **Industria Química**, la cual presta atención en los flujos reactivos complejos, el calor y reacciones químicas.
- **Ingeniería Hidráulica y Sanitaria**, en el uso para la representación de estructuras hidráulicas como vertederos, presas, centrales hidroeléctricas, entre otras.

2.1.2. Estructura de para un código CDF

La mayoría de programas que usan CDF utilizan el método de Elementos finitos para resolver numéricamente las ecuaciones que gobiernan la Mecánica de Fluidos y el proceso que estos manejan es el siguiente:

- a) Discretización del dominio:** el cual se refiere a tener una geometría ya definida y definir el dominio, el cual está dividido en un número finito de acuerdo al mallado. Con esto nos referimos que si se presenta problemas bidimensionales tendremos celdas planas y si el problema es tridimensional tendremos celdas volumétricas.
- b) Planteamiento de ecuaciones:** para cada celda perteneciente al mallado se plantean las ecuaciones generales de conservación (o transporte) para la masa, la cantidad de movimiento, la energía, etc.
- c) Procesamiento de las ecuaciones:** las ecuaciones planteadas se discretizan y linealizan para obtener un sistema algebraico de ecuaciones.

d) Resolución de ecuaciones: se resuelven numéricamente de forma iterativa el sistema algebraico para obtener una solución del campo fluidodinámico.

Con lo mencionado anteriormente, para facilitar el análisis y la presentación de resultados, se tiene la siguiente estructura comprendida por 3 módulos: pre-proceso, solver y postproceso.

Pre-proceso: se presenta en los programas como una interfaz amigable, que permite el ingreso de datos, para convertirlos posteriormente a un formato compatible para el solver. Dentro de esta etapa se realiza:

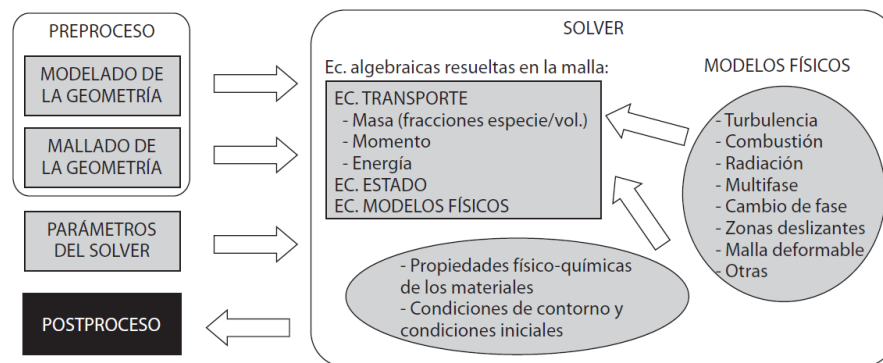
- Se define la geometría a modelar
- Se establece la malla para el modelo, sin que se superpongan y que cubran toda la geometría.
- Se definen los fenómenos físicos que se desea modelar.
- Se define las condiciones de inicio y las condiciones de borde.

Solver: consiste en la resolución de las ecuaciones, que se activaron en el pre-proceso. La resolución del problema está definida por la capacidad de procesamiento de datos de los dispositivos.

Postproceso: se muestran los resultados y existe una variedad de herramientas que facilitan su presentación, se tiene una interface gráfica que permite visualizar el dominio, la malla y presenta de forma gráfica las superficies sean estas bidimensionales o tridimensionales con su respectiva animación.

Figura 1:

Estructura del código CFD



Nota: La figura muestra los componentes de cada módulo. Fuente: Oro, J (2012).

2.1.3. Verificación del modelo numérico

Para la verificación de los modelos numéricos correspondientes a estructuras hidráulicas, unas de las principales variables a comparar son:

- Carga de presión
- Calados de agua
- Velocidades
- Caudales
- Coeficientes de descarga, velocidad y contracción

2.2. Programa Flow 3d

El programa Flow 3D, fue comercializado y desarrollado en 1980 por la compañía Flow Science en Santa Fe, New México, USA, y utiliza métodos numéricos para la resolución de ecuaciones de movimiento de fluidos, el programa puede ser usado para resolver varios problemas hidráulicos como: simulación de fluidos en superficie libre en régimen transitorio, estudios de erosión, depuración de aguas y presas, además de permitir el modelado de varias estructuras hidráulicas (Science, 2008).

En el área hidráulica el programa Flow 3D presenta ciertas facilidades como son:

- Modelos de turbulencia
- Arrastre de sedimentos
- Fuerzas gravitacionales
- Marco de referencia no inercial
- Cavitación
- Medios porosos
- Interacción de fluido-estructura completa

El programa Flow 3D, emplea ecuaciones de transporte (conservación de masa, momento y energía) e incluye el uso de varios modelos físicos y ecuaciones de estado, las ecuaciones de movimiento se encuentran escritas en coordenadas cartesianas (x, y, z) o en coordenadas cilíndricas (r, θ, z), estas ecuaciones también pueden expresarse en forma de fracciones de área y volumen, ambas independientes del tiempo.

2.2.1. Ecuaciones que usa Flow 3D

2.2.1.1. Ecuación de continuidad de masa en Flow 3D

El principio de continuidad de masa establece que, en un volumen de control, el incremento de masa en el interior es consecuencia del flujo neto de masa hacia dicho elemento (Fernández,2012).

$$V_F \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (\rho u A_x) + R \frac{\partial}{\partial y} (\rho v A_y) + \frac{\partial}{\partial z} (\rho w A_z) + \xi \frac{\rho u A_x}{x} = R_{DIF} + R_{SOR} \quad (a)$$

Donde:

V_F = Volumen fraccional del fluido

A_x, A_y, A_z = Área fraccional abierta a fluir el eje de dirección

v, u, w = Componente de la velocidad en dirección de las coordenadas (x, y, z)

$\xi =$ Para geometría cilíndricas es el término que se añade a las ecuaciones cartesianas

$\rho =$ Densidad del fluido

$R_{DIF} =$ Término de difusión turbulenta

$R_{SOR} =$ Fuente másica

2.2.1.2. Ecuación de conservación de la cantidad de movimiento

Las ecuaciones de cantidad de movimiento en flujo tridimensional con velocidades (v, u, w) son las ecuaciones de Navier-Stokes con términos adicionales.

$$\bullet \quad \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left\{ u A_x \frac{\partial u}{\partial x} + v A_y \frac{\partial u}{\partial y} + w A_z \frac{\partial u}{\partial z} \right\} - \xi \frac{A_y v^2}{x V_c} = - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + G_x + f_x - b_x - \frac{R_{SOR}}{\rho V_F} (u - u_w - \delta u_s) \quad (b)$$

$$\bullet \quad \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left\{ u A_x \frac{\partial v}{\partial x} + v A_y \frac{\partial v}{\partial y} + w A_z \frac{\partial v}{\partial z} \right\} + \xi \frac{A_y u v}{x V_c} = - \frac{1}{\rho} \left(R \frac{\partial p}{\partial y} \right) + G_y + f_y - b_y - \frac{R_{SOR}}{\rho V_F} (v - v_w - \delta v_s) \quad (c)$$

$$\bullet \quad \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left\{ u A_x \frac{\partial w}{\partial x} + v A_y \frac{\partial w}{\partial y} + w A_z \frac{\partial w}{\partial z} \right\} = - \frac{1}{\rho} \left(R \frac{\partial p}{\partial z} \right) + G_z + f_z - b_z - \frac{R_{SOR}}{\rho V_F} (w - w_w - \delta w_s) \quad (d)$$

Donde:

$G_x, G_y, G_z =$ Aceleración del cuerpo.

$f_x, f_y, f_z =$ Aceleraciones de la viscosidad.

$b_x, b_y, b_z =$ Pérdidas de flujo en medio porosos.

$A_x, A_y, A_z =$ Área fraccional abierta a fluir según el eje de dirección.

$u, v, w =$ Es el componente de velocidad en dirección de las coordenadas (x, y, z) , generalmente no es cero para el caso de sólidos en movimiento.

$V_F =$ Es el volumen fraccional del fluido.

2.2.1.3. Ecuación de conservación de la energía

La ecuación de la energía se desprende de la primera ley de la termodinámica, en la cual se establece que la cantidad de cambio de la energía de una partícula es igual a la cantidad de calor adicionado al elemento más la cantidad de trabajo realizado sobre la partícula(Guncay,2017).

$$\begin{aligned} V_F \frac{\partial}{\partial t} (\rho I) + \frac{\partial}{\partial x} (\rho I_u A_x) + \frac{\partial}{\partial y} (\rho I_v A_y) + \frac{\partial}{\partial z} (\rho I_w A_z) + \xi \frac{\rho I_u A_x}{x} \\ = -p \left\{ \frac{\partial u A_x}{\partial x} + R \frac{\partial v A_y}{\partial y} + \xi \frac{\partial w A_z}{\partial z} + \frac{u A_x}{x} \right\} + R I_{DIF} + R I_{SOR} + T_{DIF} \quad (e) \end{aligned}$$

Donde:

I =Mezcla de energía macroscópica

R_{DIF} =Difusión de por turbulencia de la energía interna

T_{DIF} =Difusión de por transferencia de calor de la energía interna

$R I_{SOR}$ =Fuente de energía

CAPÍTULO III

FUNDAMENTOS DE LA HIDRÁULICA BÁSICA

3.1. Ecuaciones fundamentales

3.1.1. Ecuación de continuidad

Es el principio de conservación de la materia aplicada en fluidos en movimiento, la cual establece que la cantidad de flujo que entra por la sección de un conducto es la misma que sale por la otra sección del conducto, cuando dicha sección no posee fugas ni aportes externos, es decir que el flujo es permanente (INITE, 2006)

$$\rho_1 A_1 V_1 = \rho_2 A_2 V_2 \quad (1.1)$$

Donde:

ρ_1, ρ_2 = Densidad

A_1, A_2 = Área de la sección de 1 y la sección 2

V_1, V_2 = Velocidad de la sección de 1 y la sección 2

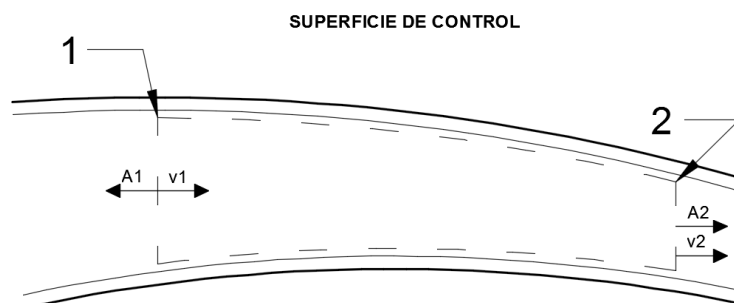
Como el flujo que circula por el conducto es el mismo, la densidad es la misma.

Simplificando la ecuación en:

$$A_1 V_1 = A_2 V_2 \quad (1.2)$$

Figura 2

Principio de continuidad



Nota: La figura representa el ingreso de un fluido por la sección 1 y la salida por la sección 2. Fuente: INITE (2006).

3.1.2. Ecuación de Bernoulli

La ecuación de Bernoulli surge de la aplicación de las leyes de Newton y el teorema de la energía cinética sobre fluidos en movimiento, en la cual se supone que un flujo ideal es incompresible, irrotacional, no viscoso y estacionario (Calderón et al., 2017, p. 4).

$$Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + h_{f1-2} \quad (1.3)$$

Donde:

Z_1 y Z_2 = Cargas o energía de posición

$\frac{P_1}{\gamma}$ y $\frac{P_2}{\gamma}$ = Cargas o energías de presión

$\frac{V_1^2}{2g}$ y $\frac{V_2^2}{2g}$ = Cargas o energías de velocidad

h_{f1-2} = Pérdidas de energía de la sección 1 a la sección 2

3.1.3. Número de Reynolds

Este número nos permite evaluar el comportamiento de un fluido, que puede presentar un flujo laminar o turbulento. Basados en los experimentos realizados por Reynolds (1883), propuso un criterio para evaluar ambos tipos de flujo. En el caso de un conducto cilíndrico a presión se lo representa de la siguiente forma (Sotelo.1997):

$$Re = \frac{V * D}{\nu} \quad (1.4)$$

Donde:

V = Velocidad media

D = Diámetro del conducto

ν = Viscosidad cinemática del fluido

Según Sotelo (1997) para determinar si un flujo es laminar el número de Reynolds se encuentra en el intervalo de $Re < 2300$, pasado este valor se inicia la zona de transición de laminar a turbulento, para esta última es requerido un valor de coeficiente de fricción f , el número de Reynolds y rugosidad relativa ε/D .

3.1.4. Formula de Darcy-Weisbach

Cuando se tiene un flujo constante dentro de un tubo con diámetro constante, la línea de energía es paralela a la línea de cargas piezométricas según Darcy y otros (1850), presentó una ecuación experimental para calcular las pérdidas por fricción en un tubo.

$$h_f = f * \frac{l}{D} * \frac{V^2}{2g} \quad (1.5)$$

Donde:

f = Coeficiente de fricción en tuberías con rugosidad

D = Diámetro del conducto

V = Velocidad media

l = Longitud de la tubería

g = Gravedad

Para determinar el coeficiente de fricción en tubos comerciales Colebrook y White presentaron la siguiente formula empírica válida para un flujo laminar y turbulento.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{\varepsilon/D}{3.71} + \frac{2.51}{Re * \sqrt{f}} \right) \quad (1.6)$$

Donde:

f = Coeficiente de fricción en tuberías con rugosidad

D = Diámetro del conducto

ε = Rugosidad absoluta

3.1.4.1. Pérdidas locales

Las tuberías empleadas en la práctica presentan una estructura con un conjunto de tramos que se basan en la topografía del lugar y estos pueden ser tramos rectos, curvos para ajustarse a la topografía. Los cambios que se originan por el cambio de dirección, un cambio en la geometría o una alteración del flujo dan como resultado una pérdida de energía que se presentan en el mismo sitio de la alteración a esta pérdida de energía se le conoce como pérdida local. Para expresar esta magnitud se utiliza una fracción de la carga de velocidad aguas abajo del sitio donde se produjo la pérdida.

La fórmula general para expresar las pérdidas locales es:

$$h = k \frac{V^2}{2g} \quad (1.7)$$

Donde:

k = Coeficiente K sin dimensiones que depende del tipo de pérdida, el número de Reynolds y la rugosidad del tubo

$\frac{V^2}{2g}$ = Carga de velocidad, aguas abajo de la zona de alteración del flujo

3.1.4.2. Pérdidas por entrada

Al entrar el flujo en las tuberías se presenta una contracción en la vena líquida y la formación de zonas de separación, el coeficiente K para este caso depende de la brusquedad con la que se efectúa esta contracción.

Para un flujo que tiene cierta inclinación se puede emplear la siguiente ecuación (Sotelo,1997).

$$K = 0.5 + 0.3 * \cos\theta + 0.2 * \cos(\theta)^2 \quad (1.8)$$

Donde:

θ = Ángulo de inclinación entre el plano vertical y la tubería

3.1.4.3. Pérdidas por cambio de dirección

Cuando un flujo presenta un cambio de dirección se modifica la distribución de velocidades que produce un aumento de presión en las zonas exteriores. Cuando el cambio de dirección se presenta de forma gradual con una curvatura con un radio R y una rugosidad absoluta se puede utilizar la gráfica de Hoffman la cual proporciona el coeficiente de fricción en la curva. Para determinar el valor de K se usa la siguiente ecuación:

$$k = C_c * \frac{\theta^\circ}{90^\circ} \quad (1.9)$$

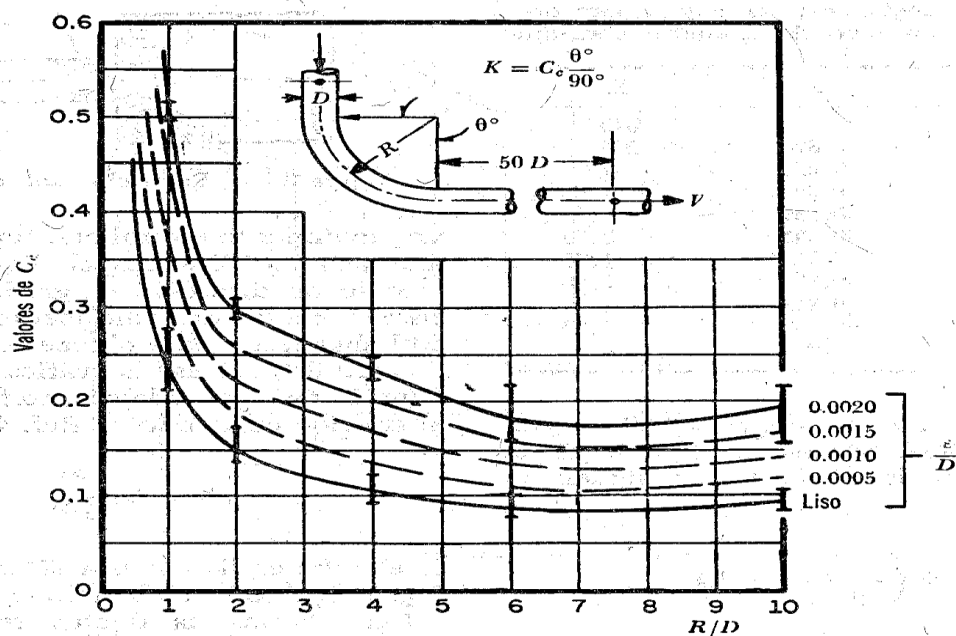
Donde:

θ = Ángulo de curvatura de la tubería

C_c = Coeficiente de fricción en la curva

Figura 3

Resistencia al flujo por cambios de presión



Nota: En la figura se determina el coeficiente de contracción en función de la rugosidad absoluta. Fuente: Sotelo (1997).

3.1.4.4. Pérdidas por reducción

Esta se presenta cuando se produce una contracción de la sección transversal del tubo, la cual es recomendable que sea gradual, el coeficiente K depende la brusquedad con la que se realice la contracción, lo que proporciona el ángulo θ . Basado en la tabla de Kisieliev(Sotelo,1997).

Tabla 1

Coeficientes de pérdida por reducción gradual de ángulo θ , según Kisieliev

Angulo de reducción θ y coeficientes de perdida K												
θ	4°-5°	7°	10°	15°	20°	30°	35°	40°	45°	60°	75°	80°
K	0.060	0.16	0.18	0.20	0.22	0.24	0.26	0.28	0.30	0.32	0.34	0.35
	0.005											

Nota: Tabla tomada de Sotelo (1997)

3.1.5. Ecuación de conservación de movimiento

“La ecuación de conservación de movimiento permite determinar las fuerzas externas que intervienen sobre los flujos cuando estos se aceleran”(INITE, 2006), lo que nos da a conocer los límites y fuerzas de los fluidos al cambio de dirección.

$$\sum F_{ext} = \rho Q (V_f - V_i) \quad (2.0)$$

Donde:

F_{ext} = Fuerza externas generada por un flujo

ρ = Densidad del fluido

Q = Caudal que pasa por el conducto

V_f = Velocidad final del flujo

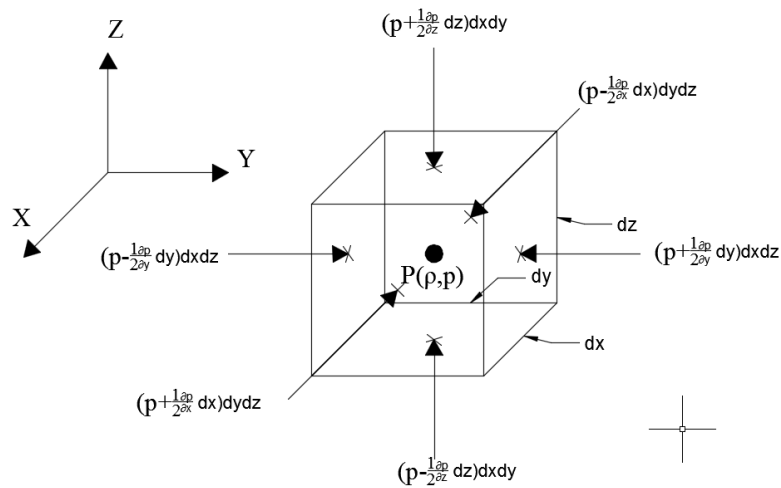
V_i = velocidad inicial del flujo

3.1.6. Ecuaciones de Euler

Establece el balance de fuerzas diferenciales en un fluido ya sea en régimen transitorio, permanente o en un fluido compresible o incompresible. Para determinar la ecuación de Euler se considera un fluido ideal de forma prismática que encierra un punto P, en donde ρ es la densidad y p es la presión. Con un sistema de coordenadas en el cual el eje z es vertical y se orientan los lados de la partícula según los ejes del sistema de tal manera que la presión se incrementa en magnitudes diferenciales y genere las fuerzas indicadas.

Figura 4

Equilibrio de una partícula en un fluido en reposo



Nota: En la figura se presenta el equilibrio de fuerzas aplicadas en una partícula en reposo. Fuente: Sotelo (1997).

Si el equilibrio de fuerzas se realiza en dirección X se obtiene que:

$$\left(p - \frac{1}{2} \frac{\partial p}{\partial x} dx\right) dydz + \left(p + \frac{1}{2} \frac{\partial p}{\partial x} dx\right) dydz + \rho X dx dy dz = 0 \quad (2.1)$$

Al realizar el mismo razonamiento en Y , Z se obtiene el siguiente sistema de ecuaciones:

$$\frac{\partial p}{\partial x} = \rho X \quad (2.2)$$

$$\frac{\partial p}{\partial y} = \rho y \quad (2.3)$$

$$\frac{\partial p}{\partial z} = \rho Z \quad (2.4)$$

Estas ecuaciones son conocidas como las ecuaciones estáticas de Euler, si consideramos que la única fuerza de cuerpo es debido a la acción del campo gravitacional de la tierra los componentes en sus ejes son: $X=Y=0$, $Z=-g$, y usando las ecuaciones anteriores tenemos:

$$\frac{\partial p}{\partial x} = 0 \quad (2.5)$$

$$\frac{\partial p}{\partial y} = 0 \quad (2.6)$$

$$\frac{\partial p}{\partial z} = -\rho g = -\gamma \quad (2.7)$$

Como conclusión tenemos que la presión dentro de un fluido en reposo varía solamente en sentido Z y es constante para todos los puntos contenidos en el mismo plano horizontal, basado en las ecuaciones anteriores tenemos que:

$$dp = -\rho g dz = -\gamma dz \quad (2.8)$$

Para poder integrar la ecuación 2.8, se especifica de $\rho=\text{constante}$ y tenemos:

$$\frac{p}{\gamma} + z = \text{constante} \quad (2.9)$$

Esta ecuación 2.9 se conoce como la Ley de Pascal y permite calcular la distribución de presiones hidrostáticas, que depende exclusivamente de la coordenada Z es decir la altura respecto a un nivel cualquiera elegido.

3.1.7. Empuje hidrostático sobre superficies planas y curvas

3.1.7.1. Definición

La presión hidrostática, es aquella que se origina por todo fluido que se encuentre en reposo, se aplica sobre el fondo y paredes de la estructura que la contiene, esta fuerza se aplica sin necesidad de una fuerza o movimiento. La presión hidrostática ejerce una fuerza perpendicular a las paredes y mayor es el peso ejercido por el fluido a medida que incrementa la profundidad.

3.1.7.2. Empuje hidrostático sobre superficie planas

Se considera una superficie plana, cuando una de sus paredes tiene una inclinación con respecto a la horizontal y en dicha pared se establece un área A , para la cual se determina una fuerza resultante debido a la presión hidrostática.

Para determinar la ecuación para el empuje hidrostático usamos la Figura 5 para esto se parte que un líquido en reposo, en una de sus paredes presenta cierta inclinación θ respecto a la horizontal, sobre esta pared se ubica una superficie de área A para la cual se desea conocer la fuerza resultante debido a la presión hidrostática

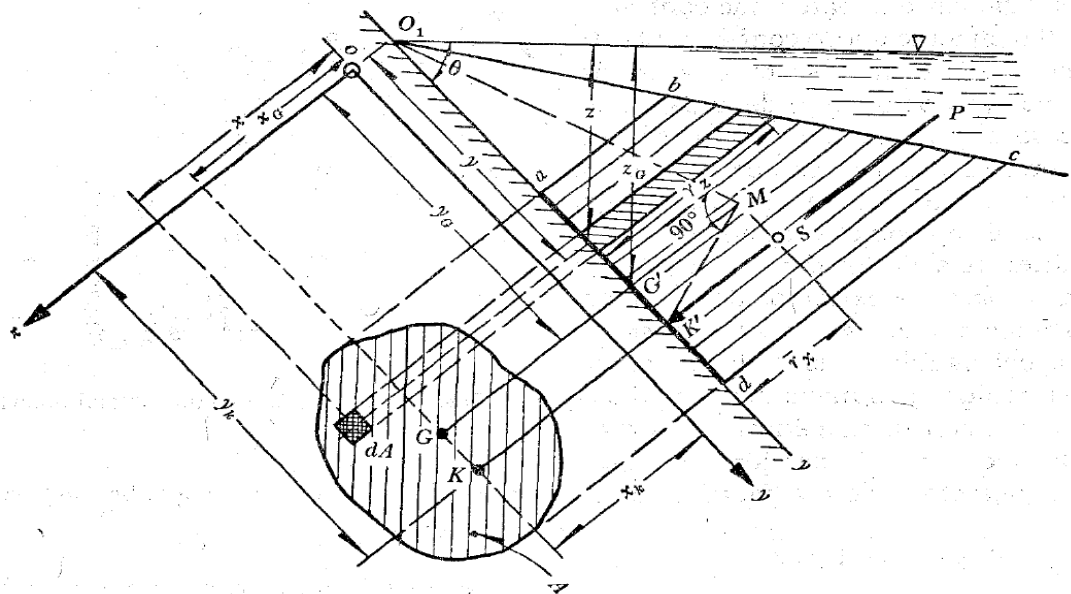
$$P = \iint_A p dA = \gamma \iint_A z dA \quad (2.10)$$

La ecuación 2.10 representa el momento estático del área respecto de la superficie libre del líquido y se puede expresar en términos del área A y de la profundidad de su centro de gravedad Z_G . El empuje hidrostático es:

$$P = \gamma A Z_G \quad (2.11)$$

Figura 5

Empuje Hidrostático sobre superficie planas



Nota: En la figura se representa el empuje hidrostático y centro de presiones para una superficie plana e inclinada. Fuente: Sotelo (1997).

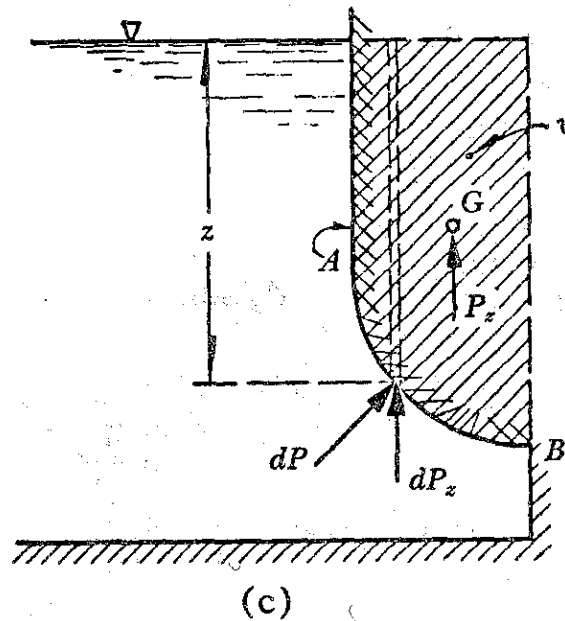
3.1.7.3. Empuje hidrostático sobre superficie curvas

Cuando una superficie es curva y sobre esta se ejerce una presión hidrostática, es recomendable determinar los coeficientes verticales y horizontales, para obtener la fuerza hidrostática resultante o se realiza la integración de las fuerzas de presión que cambian de dirección a lo largo de la superficie curva.

Para determinar el empuje hidrostático se lo realiza por separado y si los planos de las coordenadas x - z y y - z son verticales y el x - y coincide con la superficie del líquido, las componentes del empuje hidrostático sobre la superficie curva.

Figura 6

Empuje Hidrostático sobre superficie curvas



Nota: En la figura se presentan las fuerzas actuantes sobre una superficie curva.

Fuente: Sotelo (1997)

3.1.7.4. Ecuación del empuje hidrostático

$$P = \gamma * h * A \quad (2.12)$$

Donde:

P = Empuje hidrostático

γ = Peso específico del fluido

h = Profundidad

A = Área, según el diagrama de distribución de presiones

3.1.8. Bocatomas

3.1.8.1. Definición

Son estructuras hidráulicas construidas en un río o canal que tienen como objetivo el captar o desviar una parte o el total del flujo que circula por el canal, son estructuras que pueden llegar a ser obrar muy complejas y estas tienen su clasificación

en base a sus características particulares, el material del que están construidas, su objetivo y su permanencia en el tiempo.

3.2. Orificios

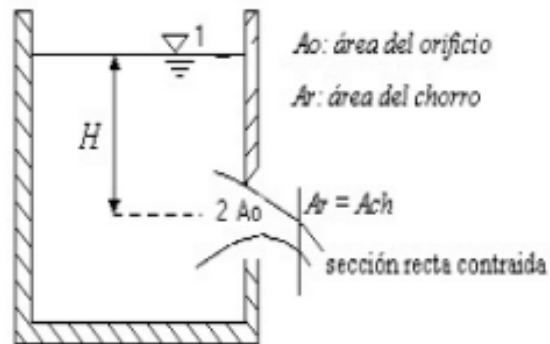
3.2.1. Definición

Los orificios son elementos hidráulicos que se caracterizan por tener una forma definida y un perímetro cerrado, para que sean considerados elementos hidráulicos deben estar por debajo de un cuerpo de agua, siendo estos tanques de almacenamiento, embalses, canales o como medio de transporte de un líquido por una tubería. Los orificios destacan en estructuras hidráulicas porque permiten aflorar fluidos, para que las pérdidas despreciables en los orificios se debe considerar que el volumen de agua es grande y que el caudal de entrada es igual al de salida (Arreaga & Mantilla, 2016).

3.2.2. Obtención de la velocidad teórica

Figura 7

Esquema de un orificio de pared delgada



Nota: La Figura muestra el comportamiento de un orificio de pared delgada.

Elaborado por: El autor.

Empleando la ecuación de la energía entre el punto 1 y punto 2 de la Figura 7 se tiene:

$$Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + h_{f1-2} \quad (2.13)$$

Donde:

Z_1 y Z_2 = Cargas o energía de posición

$\frac{P_1}{\gamma}$ y $\frac{P_2}{\gamma}$ = Cargas o energías de presión

$\frac{V_1^2}{2g}$ y $\frac{V_2^2}{2g}$ = Cargas o energías de velocidad

h_{f1-2} = Pérdidas de energía de la sección 1 a la sección 2

En el caso de una descarga libre tanto la presión como la velocidad de llegada son nulas ($V_1=0$, $P_1=0$) y se desprecian las pérdidas h_{f1-2} , se obtiene una velocidad teórica en el punto 2 de:

$$Z_1 - Z_2 = H = \frac{V_2^2}{2g} \rightarrow V_2 = \sqrt{2gH} \quad (2.14)$$

3.2.3. Ecuación del caudal o gasto para orificios

El gasto descargado por un orificio es:

$$Q = C_d * A * \sqrt{2gH} \quad (2.15)$$

Donde:

Q = Caudal de descarga

C_d = Coeficiente de descarga

A = Área de la sección

H = Carga Hidráulica (desde la superficie hasta el centro del orificio)

3.2.4. Coeficientes de velocidad, contracción y gasto para orificios de pared gruesa y delgada

Coeficiente de velocidad

Es la relación que existe entre la velocidad media real y la velocidad teórica.

$$C_v = \frac{V_R}{V_T} = \frac{V_R}{\sqrt{2gH}} \quad (2.16)$$

Coefficiente de contracción

Según (Puga,2010), el coeficiente de contracción es la relación entre el área de la sección recta contraída de una corriente (chorro) y el área del orificio por el que fluye.

$$C_c = \frac{A_r}{A_o} \quad (2.17)$$

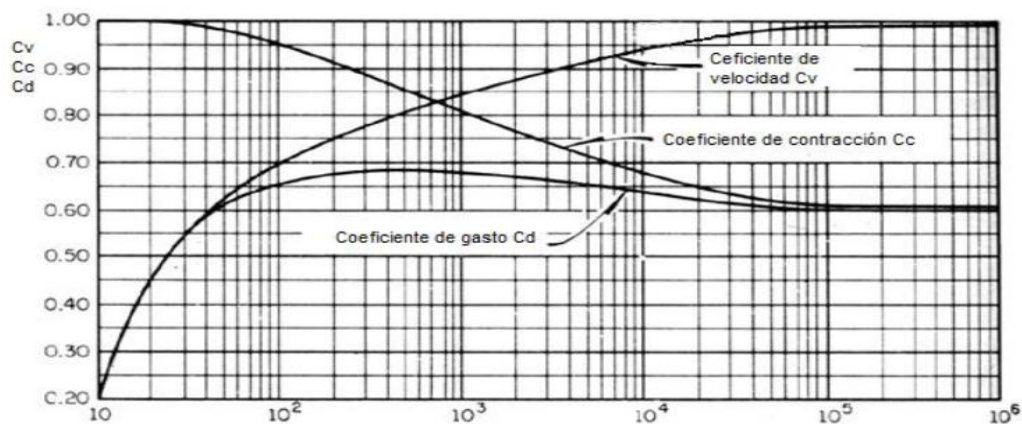
Coefficiente de descarga o gasto

Se lo determina de la siguiente forma:

$$C_d = C_c * C_v \quad (2.18)$$

Figura 8

Variación de coeficientes de velocidades, contracción y gasto en función de Reynolds en un orificio circular



Nota: La figura muestra las curvas características de los coeficientes de velocidad, contracción y descarga para orificios de pared delgada. Fuente: Sotelo (1997).

Según la Figura 8, con valores de Reynolds mayores $Re > 10^5$, los coeficientes de velocidad, descarga y contracción para orificios de pared delgada son constantes:

$$C_v = 0.99$$

$$C_c = 0.605$$

$$C_d = 0.60$$

Para orificios de pared gruesa se ha determinado por diferentes investigadores que con una relación de $e/D \leq 3$, se tiene unos coeficientes de descarga y contracción iguales a:

$$C_d = C_v = 0.82$$

$$C_c = 1$$

3.2.5. Clasificación de los orificios

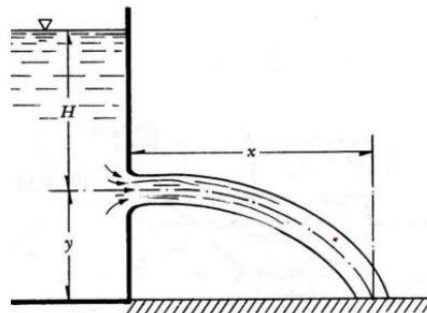
3.2.5.1. Según la forma de su descarga

3.2.5.1.1. Orificios con descarga libre

Son orificios en los cuales en nivel de agua de descarga se encuentra por debajo del orificio. Para determinar el caudal se emplea la ecuación 2.15.

Figura 9

Descarga libre



Nota: Esquema de un orificio con descarga libre. Fuente: Sotelo (1997).

3.2.5.1.2. Orificios de descarga sumergida

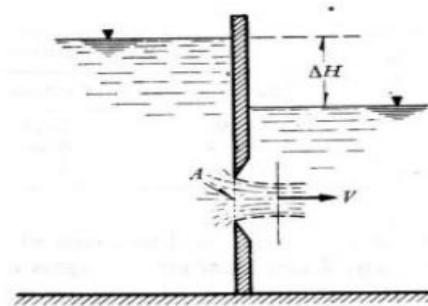
Estos orificios tienen la característica de que el nivel del líquido de descarga se encuentra tanto encima como por debajo del orificio, este tipo de orificios tienen dimensiones fijas o ajustables. El orificio con dimensiones fijas tiene la característica de ser usado cuando la carga del líquido es insuficiente para la operación en cambio los orificios con dimensiones ajustables son empleados cuando se requiere regular el área de los distintos caudales necesarios(Inciso,2016).

Para determinar el caudal que sale por un orificio con descarga sumergida se emplea la ecuación 2.19 con una cierta variación, donde la energía total H es sustituida por la diferencia de niveles entre los dos recipientes (Figura 10) y como resultado tenemos:

$$Q = C_d * A * \sqrt{2g\Delta H} \quad (2.19)$$

Figura 10

Descarga sumergida



Nota: Esquema de un orificio con descarga sumergida. Fuente: Sotelo (1997).

3.2.5.2. Según el espesor de la pared

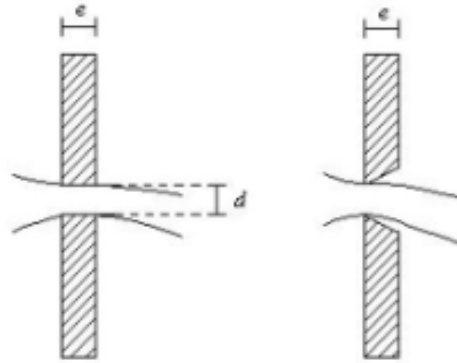
3.2.5.2.1. Orificios de pared delgada

Las diferencias entre un orificio de pared delgada y un orificio de pared gruesa es la relación entre el espesor de la pared y el diámetro del orificio y según (Arreaga & Mantilla, 2016, p. 30) si:

Si $e < 1/2 D$ es un orificio de pared delgada

Figura 11

Orificio de pared delgada



Nota: Esquema de un orificio de pared delgada no biselada y biselada. Elaborado por: El autor

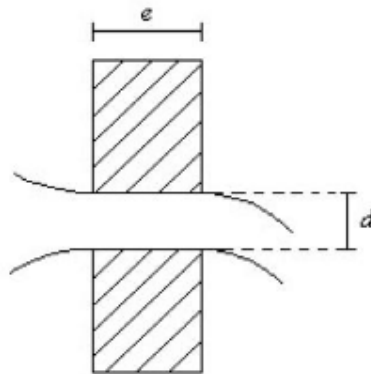
3.2.5.2.2. Orificio de pared gruesa

Los orificios de pared gruesa presentan un diámetro de chorro igual al diámetro de salida, esto indica que el área no se contrae (Arreaga & Mantilla, 2016, p. 31).

Si $e > 3D$ es un orificio de pared gruesa

Figura 12

Orificio de pared gruesa



Nota: Esquema de un orificio de pared ancha. Elaborado por: El autor.

3.3. Compuertas

3.3.1. Definición

Las compuertas son elementos móviles, con forma plana o curva que al levantarse parcial o totalmente permiten el paso del líquido, forman parte de las presas para regular el flujo de los caudales, el nivel y para desalojar los materiales flotantes. Las compuertas pueden accionarse manual o de forma automática por la presión del agua, la construcción de compuertas está relacionado directamente con el desarrollo de los sistemas de riego, navegación y almacenamiento de agua(Penagos, 2012).

Las diferentes formas de las compuertas dependen de la aplicación que se le vaya a dar, la forma de orificio, así como del mecanismo de apertura y el espacio disponible.

El gasto de una compuerta se presenta en la contracción donde el chorro de agua alcanza una contracción de $c_o a$, durante una distancia L, desde esta distancia se reestablece su sección y las líneas de corriente se vuelve horizontales. Debido a fricción del fondo y a la contracción del chorro, se genera una pérdida de carga, que afectara directamente al caudal de descarga de la compuerta.

Aplicaciones:

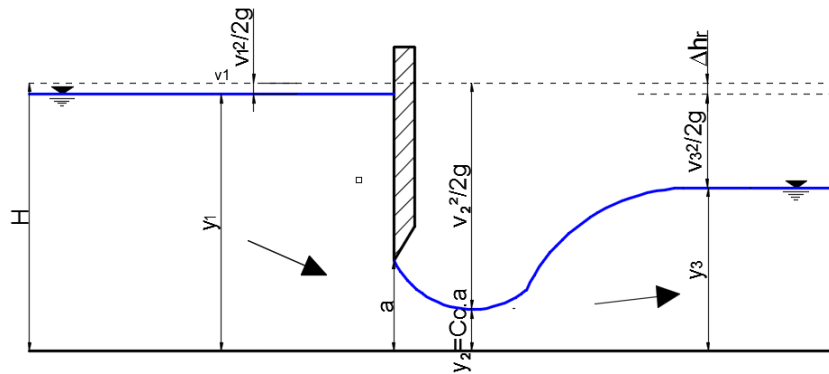
- Plantas de tratamiento de agua
- Control de inundaciones
- Sistemas de drenaje
- Proyectos de irrigación
- Crear reservas de agua
- Incrementar la capacidad de reserva de las presas
- Realizar cierres, para la ejecución de labores de limpieza y mantenimiento.
- Centrales Hidroeléctricas.

3.3.2. Ecuación de gasto para una compuerta plana

Como se muestra en la Figura 13, con el uso de la ecuación de continuidad tenemos:

Figura 13

Compuerta plana



Nota: En la figura se presentan el comportamiento de una compuerta con sus respectivos valores. Fuente: Sotelo (1997).

$$H = y_1 + \frac{v_1^2}{2g} = C_c a + \frac{v_2^2}{2g} \quad (2.20)$$

Donde:

H = Energía total

y_1 = Calado aguas arriba de la compuerta

g = Caudal que pasa por el conducto

a = Apertura de la compuerta

v_1, v_2 = Velocidad de acercamiento y de salida

C_c = Coeficiente de contracción

Aplicando la ecuación de continuidad en la Figura 13 obtenemos la siguiente ecuación:

$$v_1 = \frac{C_c a}{y_1} v_2 \quad (2.21)$$

Sustituyendo la ecuación 2.21 en la ecuación 2.20 tenemos:

$$y_1 + \left(\frac{C_c a}{y_1}\right)^2 \frac{v_2^2}{2g} = C_c a + \frac{v_2^2}{2g} \quad (2.22)$$

Usando la ecuación 2.22, para despejar el valor de V_2 tenemos:

$$v_2 = \frac{C_v \sqrt{2g \cdot y_1}}{\sqrt{1 + \frac{C_c \cdot a}{y_1}}} \quad (2.23)$$

La ecuación para determinar el coeficiente de descarga es:

$$C_d = \frac{C_c \cdot C_v}{\sqrt{1 + \frac{C_c}{y_1}}} \quad (2.24)$$

Con la velocidad y el coeficiente de descarga determinados, podemos obtener la fórmula del caudal donde:

$$Q = \frac{C_c \cdot C_v b a \sqrt{2g \cdot y_1}}{\sqrt{1 + \frac{C_c \cdot a}{y_1}}} \quad (2.25)$$

$$Q = C_d \cdot b \cdot a \cdot \sqrt{2g \cdot y_1} \quad (2.26)$$

Según Sotelo Ávila (1997), para fines prácticos se recomienda usar un coeficiente de contracción $C_c=0.62$, para cualquier relación de y_1/a esto incluye descarga sumergida.

Para el coeficiente de velocidad Knapp propone la siguiente ecuación 2.27, basada en experiencias de Gentilini la cual se puede utilizar para compuertas con descarga libre en función de a/y_1 y que tiene como límite de $C_v=1$.

$$C_v = 0.960 + 0.0979 \frac{a}{y_1} \quad (2.27)$$

3.3.3. Tipos de descarga

3.3.3.1. Descarga libre

Se considera una descarga libre, cuando el gasto aguas abajo de la compuerta se presenta una condición de presión atmosférica constante, estas características se dan cuando el calado aguas abajo no es lo suficientemente alto para sumergir la sección contraída.

3.3.3.2. Descarga sumergida

Una descarga sumergida se considera cuando aguas abajo se crea una variación de presión, generada por un volumen de agua que es lo suficiente mente alto para sumergir la sección contraída.

3.4. Vertederos

3.4.1. Definición

Los vertederos son elementos de desagüe que a diferencia de las tuberías y los orificios de pared delgada tienen una entrada superficial es decir en la superficie libre del líquido, los vertederos son estructuras conocidas como diques o paredes las cuales interceptan las corrientes de un líquido y tienen como objetivos elevar el nivel de agua o mantener dicho nivel evacuando el exceso líquido(Joel Rodríguez Falcón, 2012, p. 15).

3.4.2. Clasificación de los vertederos

3.4.2.1. Vertederos de pared delgada

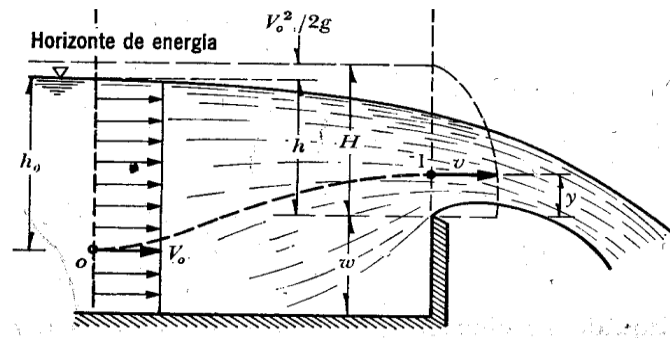
Son estructuras construidas con materiales de un pequeño espesor, los cuales son empleados para medir caudales con gran precisión, estos vertederos deben tener un pozo de amortiguación y lograr que el agua se acerque al vertedero lento y suavemente para provocar que su descarga sea por la parte superior generando líneas de flujo fuertemente curvadas(Monroy, 2010, p. 37).

El siguiente criterio es para determinar si es un vertedero de pared delgada según (Sotelo,2000).

$$\frac{e}{h} < 0.67$$

Figura 14

Vertedero de pared delgada



Nota: La figura muestra el comportamiento de un vertedero de pared delgada.

Fuente: Sotelo (1997).

Cuando la altura del vertedero (w) es demasiado grande, la carga de velocidad ($V_o^2/2g$) es despreciable por consiguiente tenemos que $H = h$, donde h es el desnivel entre la superficie del agua antes del vertedero y la cresta, para la carga H es:

$$H = h + \frac{V_o^2}{2g} \quad (2.28)$$

3.4.2.2. Ecuación de gasto para vertederos de pared delgada

$$Q = \frac{2}{3} \mu \sqrt{2g} b h^{\frac{3}{2}} \quad (2.29)$$

Donde:

Q = Caudal que pasa por el conducto

μ = Coeficiente de gasto

b = Ancho del vertedero

h = Carga sobre el vertedero

g = Gravedad

El coeficiente de descarga μ , incluye las pérdidas de energía y el efecto de contracción de la lámina vertiente. Existen varias formulaciones para el cálculo de este coeficiente, la que se utiliza para el presente trabajo corresponde a Rehbock (1929), el cual vale solo para vertederos sin contracciones laterales, el cual es muy preciso y sencillo de utilizar. (Sotelo,1997)

$$\mu = \left[0.6035 + 0.0813 \left(\frac{h + 0.0011}{w} \right) \right] \left[1 + \frac{0.0011}{h} \right]^{\frac{3}{2}} \quad (2.30)$$

Donde:

b = Ancho del vertedero

w = Altura del vertedero

Esta formulación tiene ciertas limitantes para su uso, como solo las siguientes:

$$0.01m \leq h \leq 0.8m$$

$$b \geq 0.3m$$

$$w \geq 0.06m$$

$$\frac{h}{w} \leq 1$$

3.4.2.3. Vertederos de pared ancha

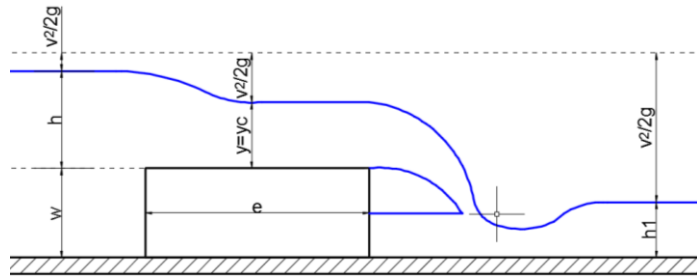
Son empleados en su mayoría para el control de los niveles de los ríos y canales, son estructuras robustas que no son dañadas fácilmente y manejan con cierta facilidad caudales grandes, estos pueden ser usados como elementos estructurales que midan el caudal(José et al., 2012). Para determinar el comportamiento de un vertedero y saber si actuará como un vertedero de pared ancha o un vertedero de pared delgada se usa las siguientes relaciones según Bazin:

$$\frac{e}{h} > 0.67$$

Para este caso el comportamiento de la lámina de la vertiente es la de adherirse a la cresta del vertedero y se presentan diferentes comportamientos dependiendo de la altura del vertedero (w).

Figura 15

Vertedero de pared ancha



Nota: En la Figura se refleja el comportamiento de un vertedero de pared ancha.

Elaborado por: El autor.

3.4.2.4. Ecuación de gasto para vertederos de pared gruesa

$$Q = C\epsilon b h^{\frac{3}{2}} \quad (2.31)$$

Donde:

Q = Caudal que pasa por el conducto

C = Coeficiente de descarga adimensional del vertedero de pared ancha

h = Carga sobre el vertedero

ϵ = Coeficiente de reducción por sumergencia que depende de la relación e/h

Para el coeficiente C , de descarga se usa la ecuación 2.32 que es adecuada para un vertedero de pared delgada, en condiciones de descarga libre y que toma en cuenta la altura de la cresta, se puede usar para vertederos de pared gruesa con las mismas condiciones, para el coeficiente de reducción que depende de la relación e/h , se usa la ecuación 2.33.

$$C = \frac{2}{3} \sqrt{2g\mu} \quad (2.32)$$

$$\varepsilon = 0.7 + \frac{0.185}{e/h} \quad (2.33)$$

Los vertederos que se modelaron son sin contracción lateral y rectangulares.

3.4.2.5. Vertedero tipo WES

Es un vertedero que se utiliza para aliviar caudales crecientes y que permite la máxima descarga del fluido en relación con otras formas de vertederos que posean la misma altura. El vertedero perfil tipo WES (Waterways Experiment Station) consiste en el perfil de la lámina inferior de agua de una cresta de control de pared delgada, con un ancho de canal igual al ancho de la cresta, este perfil garantiza un leve cambio en el coeficiente de descarga.

El perfil tipo WES “constituye una sección de control cuya descarga puede ser libre o controlada”, en la cual no se requieren de elementos adicionales para regularla, una de las ventajas que posee este tipo de vertederos es la variedad de compuertas que pueden usarse sobre su cresta.

En base a resultados obtenidos de la Bureau of Reclamation, se determinó ciertas formas estándar de vertederos tipo WES como la Figura 16, que puede ser representada mediante la siguiente ecuación:

$$X^n = KH_d^{n-1}Y \quad (2.34)$$

Donde:

X y Y = Coordenadas del perfil de la cresta con su origen en el punto más alto

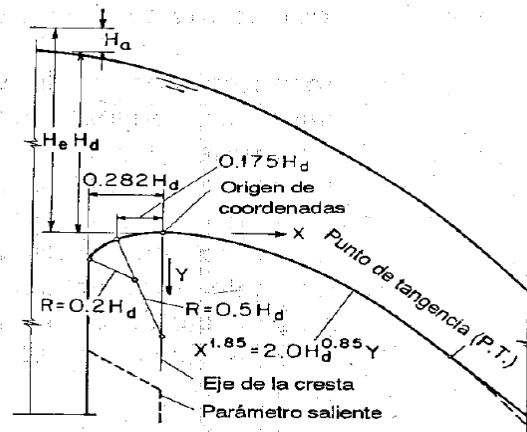
H_d = Altura de diseño, no se incluye la altura de velocidad de flujo de aproximación

K y $n=$ Son valores que dependen de la pendiente de la cara aguas arriba.

Los valores de K y n son: de 2 y 1.85 respectivamente para vertederos tipo WES verticales.

Figura 16

Vertedero tipo WES



Nota: Se presenta una de las formas estándar para el diseño de un perfil tipo WES.

Fuente: Ven Te Chow (2004).

Para determinar el radio de enlace entre el perfil y la zona de descarga, Bureau en base a experimentación determinó que la velocidad de salida del vertedero con pendiente puede regirse a la ecuación 2.35 y para estimar el radio de enlace se puede usar la ecuación 2.36:

$$v_1 = \sqrt{2 * g * (Z - 0.5H)} \quad (2.35)$$

$$R = 10^{\frac{v_1 + 6.4H + 16}{3.6H + 64}} \quad (2.36)$$

Donde:

$Z=$ Es la caída o distancia vertical en metros desde el nivel del embalse aguas arriba hasta el nivel de piso a la salida

$H =$ Altura de aproximación aguas arriba en metros

$g =$ Gravedad en m/s^2

3.4.2.6. Ecuación de gasto para un vertedero tipo WES

$$Q = CBH^{1.5} \quad (2.37)$$

Donde:

Q = Caudal que pasa por el conducto

B = Ancho del vertedero

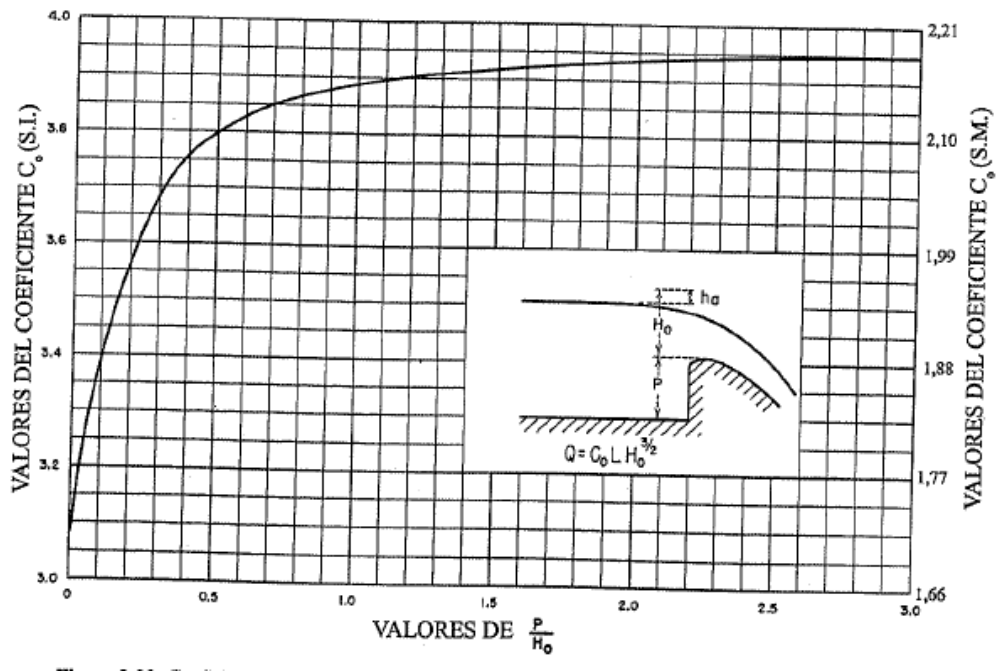
H = Altura de energía total sobre la cresta

C = Coeficiente de descarga

Para el coeficiente de descarga se puede usar el siguiente Abaco (Figura 17).

Figura 17

Coeficiente de descarga de un vertedero con pared vertical aguas arriba



Nota: En base a la figura se puede determinar el valor de los coeficientes de descarga en unidades S.I. y S.M. Fuente: Bureau of Reclamation (2007).

CAPÍTULO IV

ESTRUCTURAS HIDRÁULICAS A MODELAR

4.1. Descripción de las estructuras hidráulicas

Las estructuras hidráulicas modeladas presentan ciertas variaciones geométricas adoptadas para una representación clara en el software, aclaro que no se consideraron criterios constructivos. Por el motivo mencionado se plantearon las siguientes dimensiones y condiciones de operación para cada una de ellas.

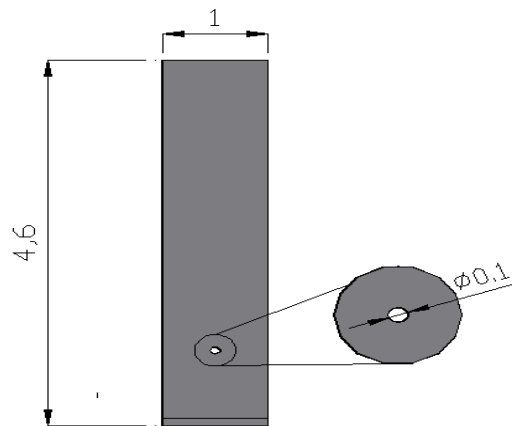
4.1.1. Orificios

4.1.1.1. Geometría orificios de pared delgada

Para la modelación del orificio de pared delgada y pared gruesa con el programa del Flow 3D es requerido tener la geometría de cada estructura, las cuales son presentadas en las Figuras 18 y 19 para un orificio de pared delgada y las Figuras 20 y 21 para un orificio de pared gruesa.

Figura 18

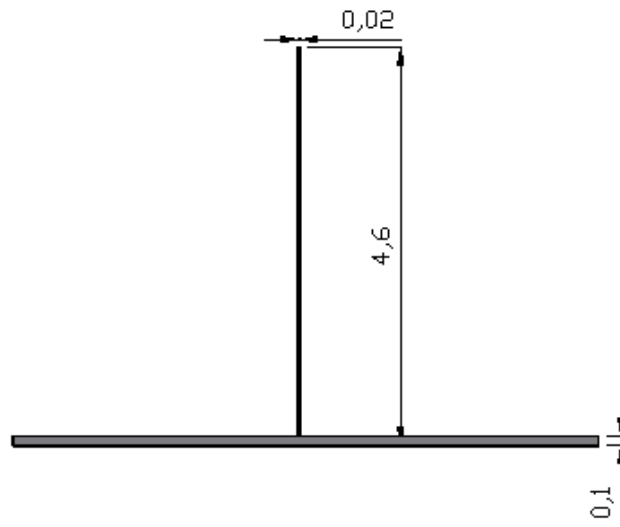
Geometría de un orificio de pared delgada



Nota: Vista frontal de la geometría de un orificio de pared delgada, con el detalle apliado del orificio. Elaborado por: El autor.

Figura 19

Geometría de un orificio de pared delgada



Nota: Vista lateral de la geometría de un orificio de pared delgada. Elaborado por : El autor.

Datos:

$H = 4.6\text{m}$ Altura de la pared

$d = 0.1\text{m}$ Diámetro del orificio

$e_p = 0.02\text{m}$ Espesor de la pared

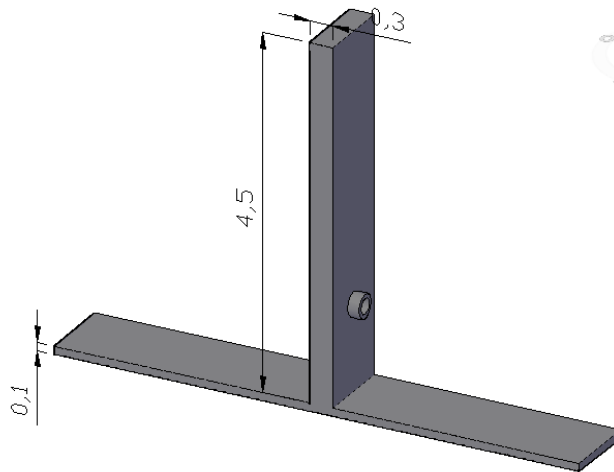
$e_s = 0.1\text{m}$ Espesor del piso

$b = 1.00\text{m}$ Ancho de la pared

4.1.1.2. Geometría orificio de pared gruesa

Figura 20

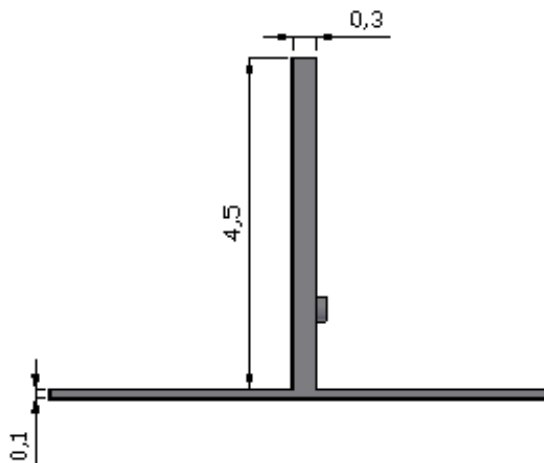
Moldeo 3D de un orificio de pared gruesa



Nota: Vista de un modelo 3D de un orificio de pared gruesa. Elaborado por: El autor.

Figura 21

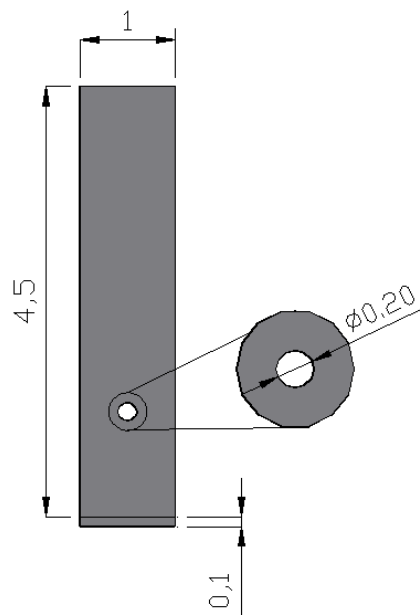
Geometría de un orificio de pared gruesa



Nota: Vista lateral de la geometría de un orificio de pared gruesa. Elaborado por: El autor.

Figura 22

Geometría de un orificio de pared gruesa



Nota: Vista frontal de la geometría de un orificio de pared gruesa, con el detalle apliado del orificio. Elaborado por: El autor.

Datos:

$H = 4.5\text{m}$ Altura de la pared

$d = 0.2\text{m}$ Diámetro del orificio

$e_p = 0.3\text{m}$ Espesor de la pared

$e_t = 0.2\text{m}$ Espesor de la tubería

$e_s = 0.1\text{m}$ Espesor del piso

$b = 1.00\text{m}$ Ancho de la pared

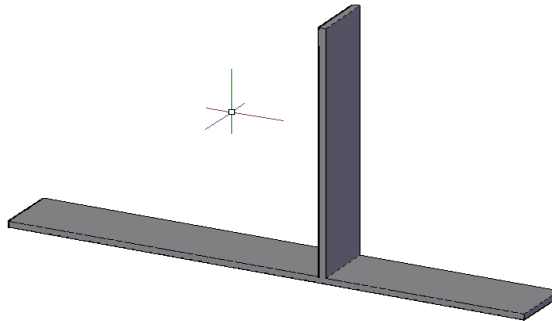
4.1.2. Presión hidrostática

Para modelar con el uso de programa Flow 3D y realizar el cálculo de presiones hidrostáticas con la teoría de la hidráulica básica es requerida establecer una geometría para superficies planas verticales (Figura 23, 24 y 25), planas inclinadas (Figura 28 y 29) y curvas (Figura 26 y 27), las cuales se presenta a continuación.

4.1.2.1. Geometría superficie vertical plana

Figura 23

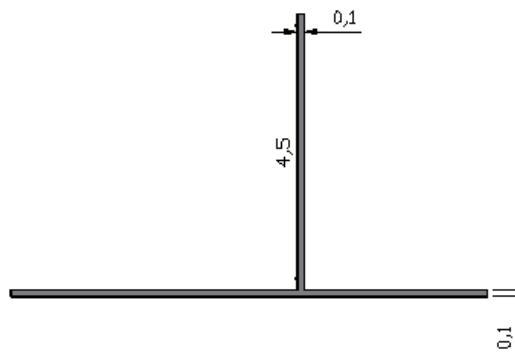
Moldeo 3D de una superficie vertical plana



Nota: Vista de un modelo 3D de una superficie plana vertical. Elaborado por: El autor

Figura 24

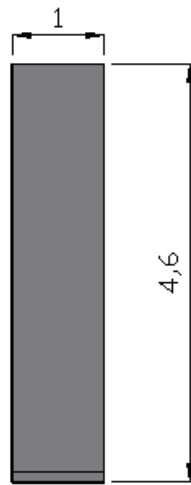
Geometría superficie plana vertical



Nota: Vista lateral de la geometría de una superficie plana para el cálculo de presiones hidrostáticas. Elaborado por: El autor.

Figura 25

Geometría superficie plana vertical



Nota: Vista frontal de la geometría de una superficie plana para el cálculo de presiones hidrostáticas. Elaborado por: El autor.

Datos:

$H = 4.5\text{m}$ Altura de la pared

$e_p = 0.1\text{m}$ Espesor de la pared

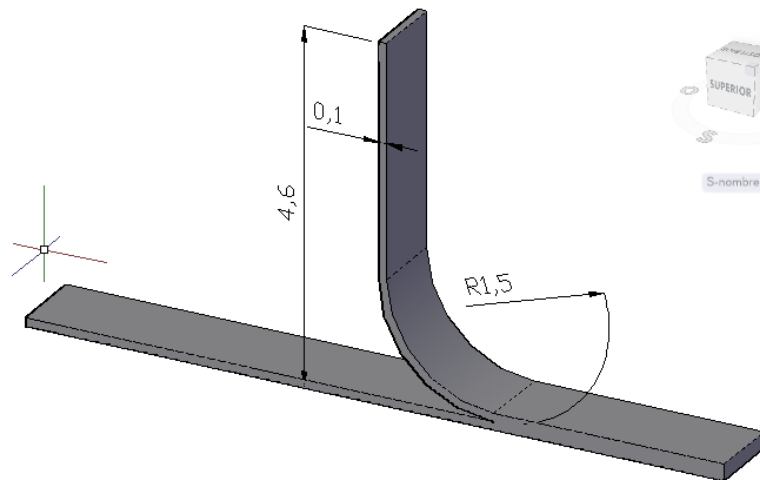
$e_s = 0.1\text{m}$ Espesor del piso

$b = 1.00\text{m}$ Ancho de la pared

4.1.2.2. Geometría de superficie curva plana

Figura 26

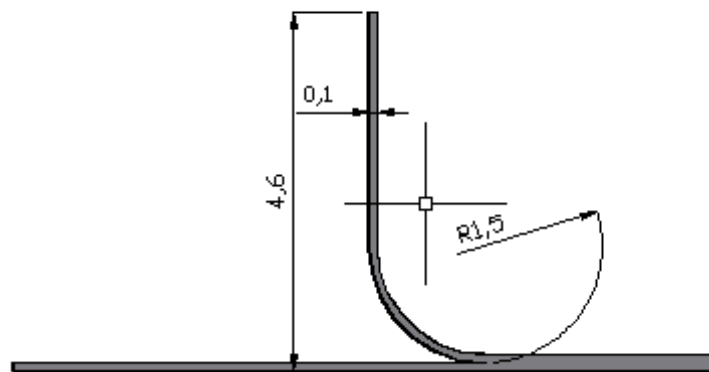
Moldeo 3D de una superficie curva



Nota: Vista de un modelo 3D de una superficie curva. Elaborado por: El autor.

Figura 27

Geometría superficie curva



Nota: Vista lateral de la geometría de una superficie plana curva para el cálculo de presiones hidrostáticas. Elaborado por: El autor.

Datos:

$H = 4.5\text{m}$ Altura de la pared

$e_p = 0.1\text{m}$ Espesor de la pared

$e_s = 0.1\text{m}$ Espesor del piso

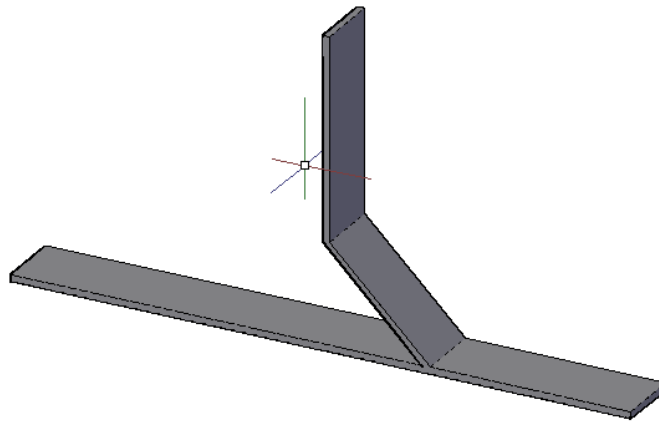
$b = 1.00\text{m}$ Ancho de la pared

$r = 1.50\text{m}$ Radio de la superficie curva

4.1.2.3. Superficie plana inclinada

Figura 28

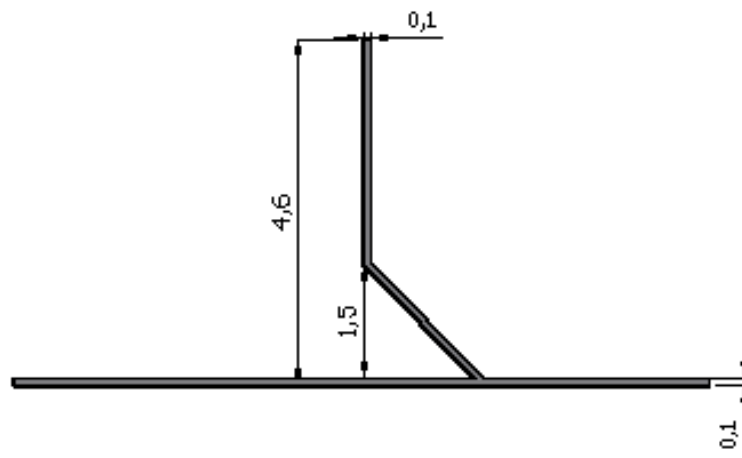
Moldeo 3D de una superficie plana inclinada



Nota: Vista de un modelo 3D de una superficie plana inclinada. Elaborado por: El autor.

Figura 29

Geometría superficie plana inclinada



Nota: Vista lateral de la geometría de una superficie plana inclinada para el cálculo de presiones hidrostáticas. Elaborado por: El autor.

Datos:

$H = 4.5\text{m}$ Altura de la pared

$e_p = 0.1\text{m}$ Espesor de la pared

$e_s = 0.1\text{m}$ Espesor del piso

$b = 1.00\text{m}$ Ancho de la pared

$l = 1.50\text{m}$ Distancia vertical y horizontal de la superficie plana inclinada

4.1.3. Vertederos

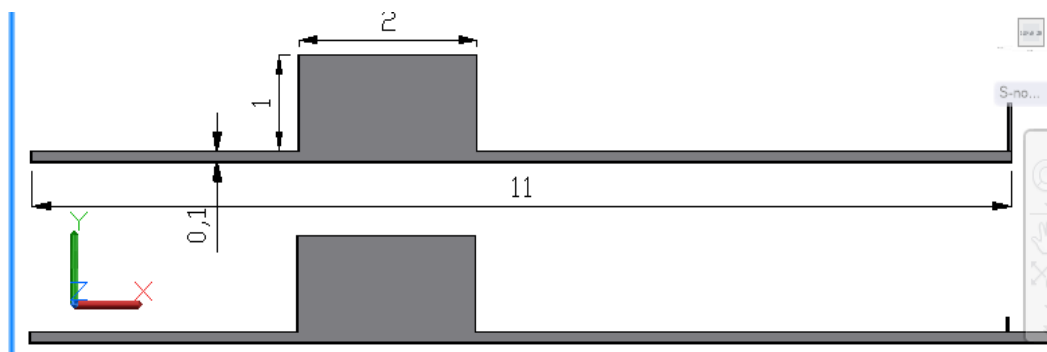
Para el cálculo y modelado de vertederos de pared ancha como vertederos de pared delgada y tipo WES es requerida una geometría la cual se presenta a continuación.

4.1.3.1. Vertedero de pared ancha

La geometría adoptada para el vertedero pared gruesa está representada en las Figuras 30 y 31.

Figura 30

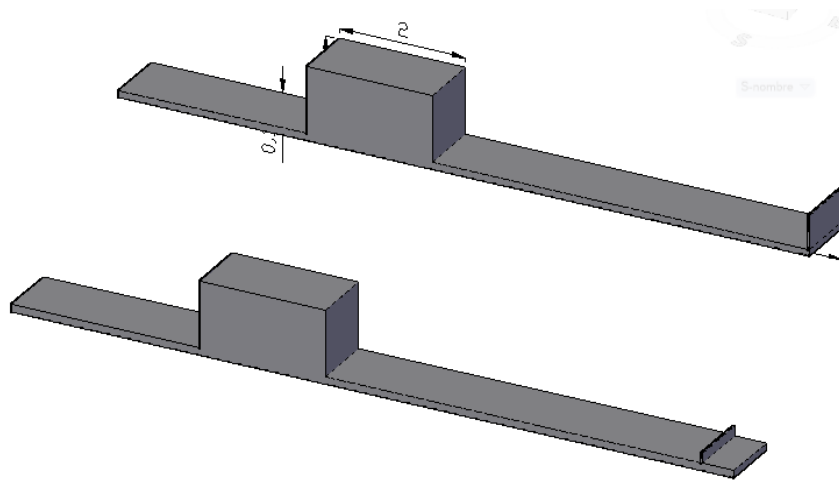
Geometría vertedero de pared ancha



Nota: Vista lateral de la geometría de un vertedero de pared ancha con la condición de sumergencia y un vertedero de pared ancha con la condición de descarga libre. Elaborado por: El autor.

Figura 31

Moldeo 3D de un vertedero de pared ancha



Nota: Vista del modelo de un vertedero de pared ancha con la condición de sumergencia y un vertedero de pared ancha con la condición de descarga libre.

Elaborado por: El autor

Datos:

$b = 1.00\text{m}$ Ancho del vertedero

$c = 1.00\text{m}$ Altura del vertedero

$h1 = 0.50\text{m}$ Altura de la pared vertedero para la condición de descarga sumergida

$h2 = 0.15\text{m}$ Altura de la pared vertedero para la condición de descarga libre

$e = 2.00\text{m}$ Espesor del vertedero

$ep = 0.10\text{m}$ Espesor del piso del vertedero

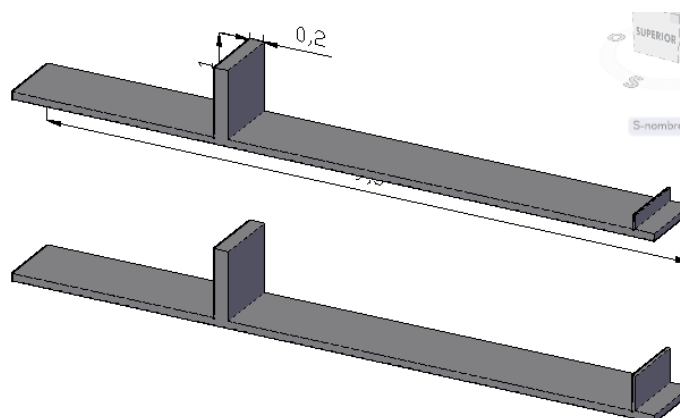
$e1 = 0.02\text{m}$ Espesor de la pared vertedero que condiciona si la descarga es sumergida o libre.

4.1.3.2. Vertedero de pared delgada

La geometría adoptada para el vertedero de pared delgada se representa en las Figuras 32 y 33.

Figura 32

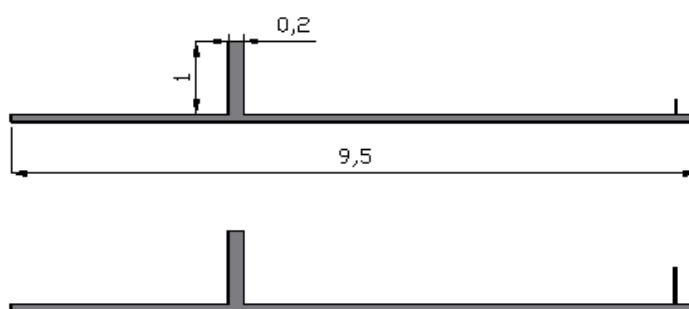
Modelo 3D de un vertedero de pared delgada



Nota: Modelo 3D de un vertedero de pared delgada con la condición de descarga libre y un vertedero de pared delgada con la condición de descarga sumergida. Elaborado por: El autor.

Figura 33

Geometría vertedero de pared delgada



Nota: Vista lateral de la geometría de un vertedero de pared delgada con la condición de descarga libre y un vertedero de pared delgada con la condición de descarga sumergida. Elaborado por: El autor.

Datos:

$b = 1.00\text{m}$ Ancho del vertedero

$c = 1.00\text{m}$ Altura del vertedero

$h_1 = 0.50\text{m}$ Altura de la pared vertedero para la condición de descarga sumergida

$h_2 = 0.20\text{m}$ Altura de la pared vertedero para la condición de descarga libre

$e = 0.20\text{m}$ Espesor del vertedero

$e_p = 0.10\text{m}$ Espesor del piso del vertedero

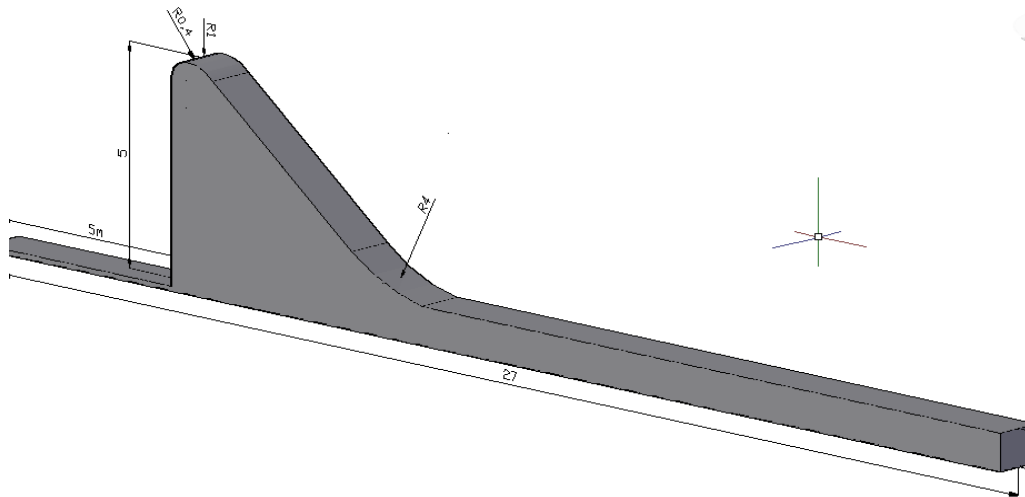
$e_1 = 0.02\text{m}$ Espesor de la pared vertedero que condiciona si la descarga es sumergida o libre.

4.1.3.3. Vertedero tipo WES

La geometría adoptada para el vertedero tipo WES se representa en las Figura 34 y 35.

Figura 34

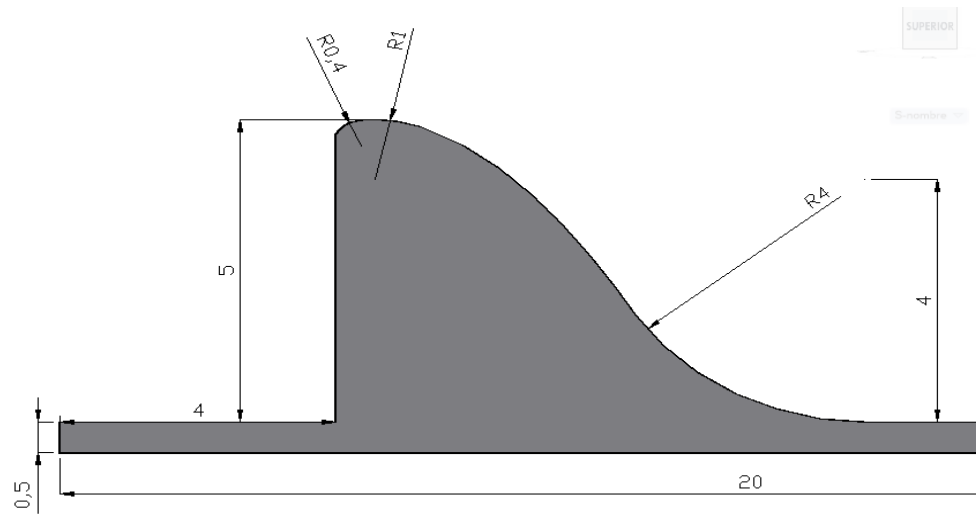
Modelo 3D de un vertedero tipo WES



Nota: Modelo 3D de un vertedero tipo WES con descarga libre. Elaborado por: El autor.

Figura 35

Geometría vertedero tipo WES



Nota: Vista lateral de la geometría de un vertedero tipo WES con descarga libre.

Elaborado por: El autor.

Datos:

$H = 2.00\text{m}$ Carga de agua sobre el vertedero

$b = 1.00\text{m}$ Ancho del vertedero

$c = 5.00\text{m}$ Altura del vertedero

$R1 = 0.40\text{m}$ Radio de entrada del vertedero

$R2 = 1.00\text{m}$ Radio de coronación del vertedero

$R3 = 4.00\text{m}$ Radio de enlace entre el perfil tipo WES y la zona de descarga.

$L = 20\text{m}$ Longitud total de la estructura del vertedero

$L1 = 4.00\text{m}$ Longitud de la losa de acercamiento

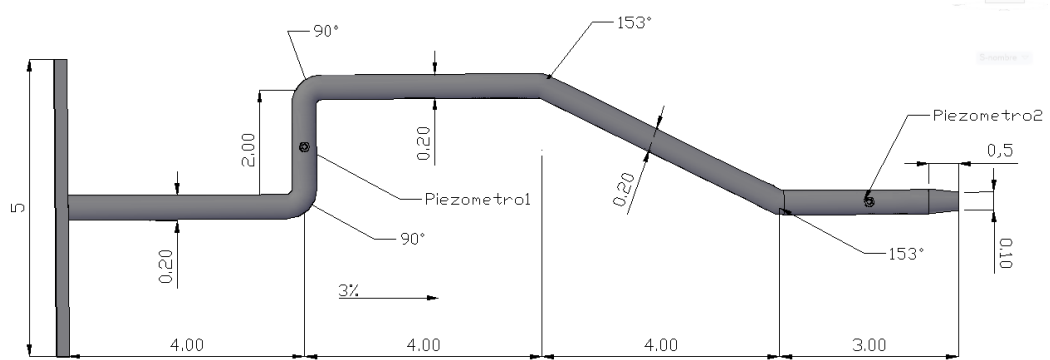
$e = 0.50\text{m}$ Espesor de la losa de acercamiento.

4.1.4. Bocatoma

Para representar el funcionamiento de una descarga de agua(bocatoma), es requerido una geometría la cual se utilizará para realizar los cálculos aplicando la teoría de la hidráulica básica y el modelado en el programa Flow 3D, la geometría se presenta en la Figura 36.

Figura 36

Geometría de una tubería

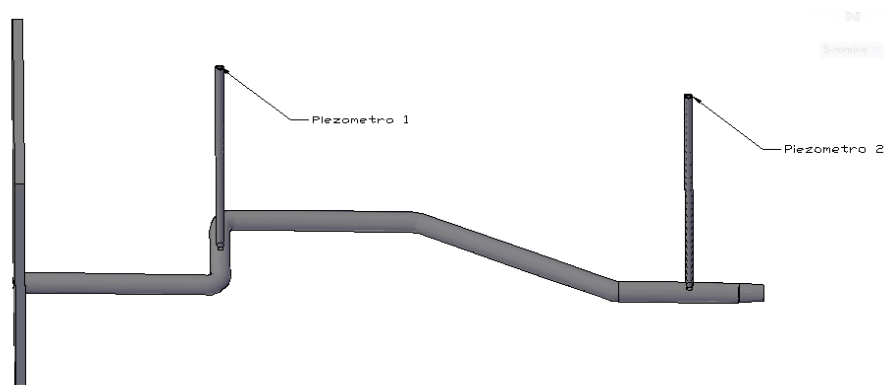


Nota: Vista superior de la geometría de una tubería(bocatoma) con descarga libre.

Elaborado por: El autor.

Figura 37

Modelo 3D de una tubería



*Nota:*Modelo 3D de una tubería (bocatoma) con descarga libre. Elaborado por: El autor.

Datos:

$H = 5.50\text{m}$ Altura de la pared

$b = 5.00\text{m}$ Ancho de la pared

$d1 = 0.2\text{m}$ Diámetro de la tubería de desagüe

$d2 = 0.1\text{m}$ Diámetro de salida de la tubería

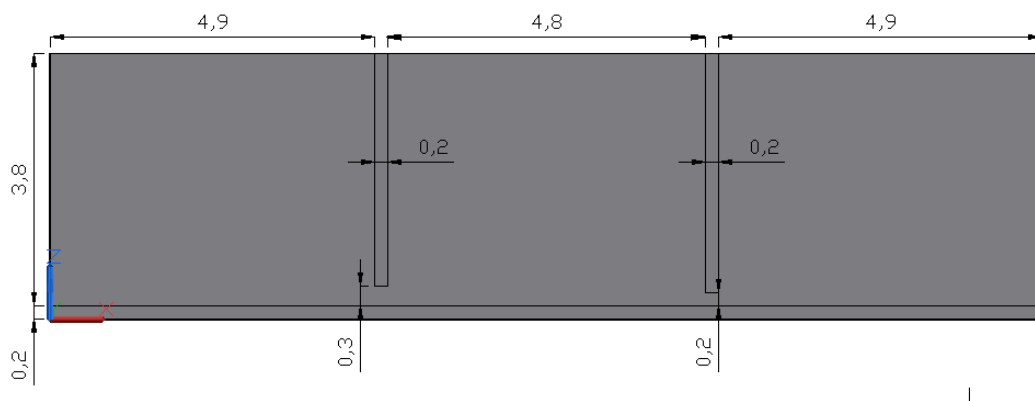
$i = 3\%$ Pendiente

4.1.5. Compuertas

La geometría de las compuertas se ve representado en las Figuras 38 y 39

Figura 38

Geometría canal-corte en el eje Y

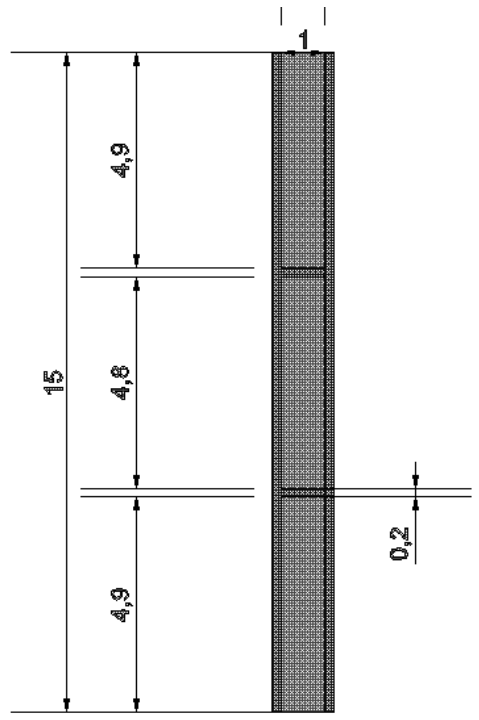


Nota: Vista lateral del corte en el eje Y, del canal mostrando la geometría empleada.

Elaborado por: El autor.

Figura 39

Geometría canal-vista superior del canal



Nota: Vista superior del canal mostrando la geometría empleada. Elaborado por: El autor.

Datos:

$H = 3.80\text{m}$ Altura total del canal con compuertas

$b = 1.00\text{m}$ Ancho del canal y de la compuerta

$L = 15.00\text{m}$ Longitud total del canal

$a_1 = 0.3\text{m}$ Abertura de la primera compuerta

$a_2 = 0.2\text{m}$ Abertura de la segunda compuerta

$e = 0.20\text{m}$ Espesor de las compuertas, piso y paredes del canal

CAPÍTULO V

MANUAL DE PRÁCTICAS VIRTUALES Y GUÍA DE MANEJO DEL

PROGRAMA FLOW 3D



FACULTAD DE INGENIERÍAS

LABORATORIO DE MECÁNICA DE FLUIDOS E HIDRÁULICA APLICADA

Manual de prácticas virtuales y guía de manejo del programa FLOW 3D

Elaborado por:

Diego Quishpe

2021-2022

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
PRÁCTICA N°1	2
TEMA: INTRODUCCIÓN AL FLOW 3D	2
Ejemplo de práctica N° 1	34
Hoja de resultados	34
Práctica N° 1	37
Hoja de resultados	37
PRÁCTICA N°2	38
TEMA: ORIFICIOS DE PARED DELGADA Y GRUESA	38
Ejemplo de práctica N° 2	55
Hoja de resultados	55
Práctica N° 2	60
Hoja de resultados	60
PRÁCTICA N°3	64
TEMA: VERTEDEROS DE PARED ANCHA, DELGADA Y TIPO WES	64
Ejemplo de práctica N° 3	80
Hoja de resultados	80
Práctica N° 3	89
Hoja de resultados	89
PRÁCTICA N°4	94
TEMA: PRESIONES HIDROSTÁTICAS	94
Ejemplo de práctica N° 4	103
Hoja de resultados	103
Práctica N° 4	109
Hoja de resultados	109
PRÁCTICA N°5	113
TEMA: CANALES	113
Ejemplo de práctica N° 5	120
Hoja de resultados	120
Práctica N° 5	125
Hoja de resultados	125
PRÁCTICA N°6	129
TEMA: RESISTENCIA AL FLUJO EN CONDUCTOS	129
Ejemplo de práctica N° 6	139
Hoja de resultados	139
Práctica N° 6	146
Hoja de resultados	146

INTRODUCCIÓN

Al tener un mayor desarrollo este mundo, la solicitud de un personal con mayor conocimiento se ha vuelto indispensable, el objetivo de este manual es brindar e incentivar al estudiante a adquirir conocimientos constantemente y mejorar su desarrollo profesional.

Con la intención de proporcionar ayuda a los estudiantes de la Universidad Politécnica Salesiana, en la integración de nuevos conocimientos sobre Softwares que ayudaran en su vida profesional y presentar una forma en la que los estudiantes puedan aprender de una manera dinámica el comportamiento de las diferentes estructuras hidráulicas mencionadas y reforzar lo aprendido en clases se presenta este manual.

El manual comprende un manejo gráfico de los pasos a seguir, así como una explicación detallada de los mismos con el complemento teórico correspondiente al caso a estudiar.

Se presenta un ejercicio modelo para demostrar el funcionamiento, manejo y pasos a seguir para elaborar y realizar un adecuado uso del programa, los resultados son validados con el mismo y se comparan con los resultados obtenidos con los conocimientos impartidos en clase.

PRÁCTICA N°1

TEMA: INTRODUCCIÓN AL FLOW 3D

1. Objetivos:

- 1.1.** Presentar a los estudiantes los beneficios de la Dinámica de Fluidos Computacional (CDF)
- 1.2.** Presentar y explicar el funcionamiento del programa Flow 3D a los estudiantes y los beneficios de utilizar esta plataforma para el desarrollo de sus proyectos.

2. Marco teórico:

2.1. Dinámica de Fluidos Computacional

Los fenómenos relacionados con los movimientos de los fluidos pueden ser descritos mediante el uso de ecuaciones diferenciales de segundo orden que permiten obtener una respuesta aproximada al comportamiento real de los fenómenos a estudiar. El uso de la dinámica de fluidos computacional está dirigida al uso de un computador para realizar el análisis de los sistemas que involucren el movimiento de fluidos, con el fin de obtener una respuesta aproximada de las ecuaciones que rigen el comportamiento de los fluidos(Barba, 2020, p. 79)

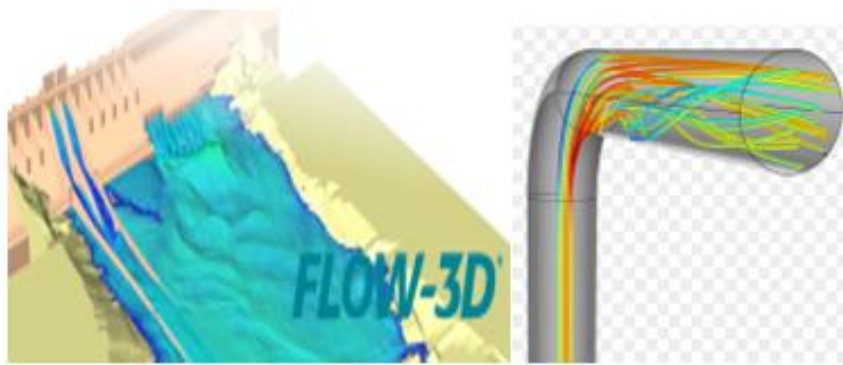
La simulación numérica es una herramienta de diseño que sirve para complementar los conocimientos teóricos y experimentales, mostrando ciertas ventajas tales como:

- En la modelación física encontramos ciertas limitantes como es la escala a la que se puede construir y los costos aplicados en su construcción, en estas representaciones se puede apreciar los comportamientos que pueden llegar a suceder, pero aun de esta manera no se puede representar el comportamiento real del prototipo. Por estos motivos una modelación numérica permite

representar de manera más exacta el comportamiento del prototipo debido a que se puede usar sus dimensiones reales y aplicar diferentes condiciones.

- Permite simular situaciones especiales o situaciones muy difíciles de reproducir experimentalmente.
- Aporta una calidad de alta de detalle, limitada únicamente por la capacidad de procesamiento.
- Reduce de manera considerable los tiempos y costos de diseño con respecto a los modelos físicos.

Figura 1



2.2. Estructura de para un código CDF

La mayoría de programas que usan CDF utilizan el método de elementos finitos para resolver numéricamente las ecuaciones que gobiernan la mecánica de fluidos y el proceso que estos manejan es el siguiente:

- e) **Discretización del dominio:** el cual se refiere a tener una geometría ya definida y definir el dominio, el cual está dividido en un número finito de acuerdo al mallado. Esto se refiere que si se presentan problemas bidimensionales tendremos celdas planas y si el problema es tridimensional tendremos celdas volumétricas.

- f) **Planteamiento de ecuaciones:** para cada celda perteneciente al mallado se plantean las ecuaciones generales de conservación (o transporte) para la masa, la cantidad de movimiento, la energía, etc.
- g) **Procesamiento de las ecuaciones:** las ecuaciones planteadas se discretizan y linealizan para obtener un sistema algebraico de ecuaciones.
- h) **Resolución de ecuaciones:** se resuelven numéricamente de forma iterativa el sistema algebraico para obtener una solución del campo fluidodinámico.

Con lo mencionado anteriormente, para facilitar el análisis y la presentación de resultados, se tiene la siguiente estructura comprendida por 3 módulos: pre-proceso, solver y postproceso.

Pre-proceso: se presenta en los programas como una interfaz amigable, que permite el ingreso de datos, para convertirlos posteriormente a un formato compatible para el solver. Dentro de esta etapa se realiza:

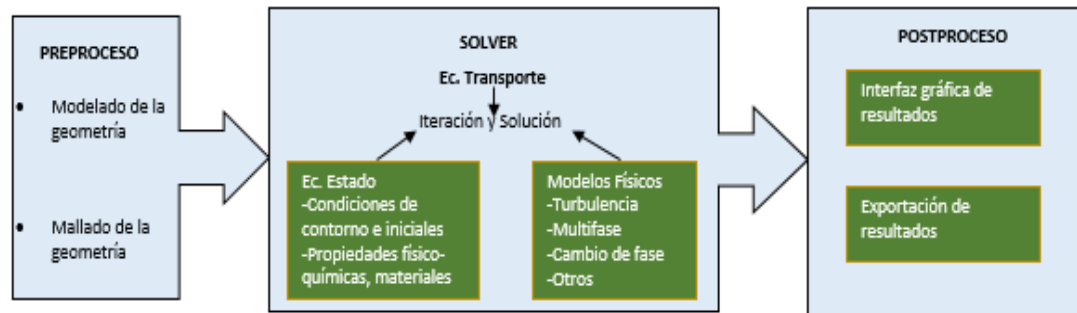
- Se define la geometría a modelar
- Se establece la malla para el modelo, sin que se superpongan y que cubran toda la geometría.
- Se definen los fenómenos físicos que se desea modelar.
- Se define las condiciones de inicio y las condiciones de borde.

Solver: consiste en la resolución de las ecuaciones, que se activaron en el pre-proceso. La resolución del problema está definida por la capacidad de procesamiento de datos de los dispositivos.

Postproceso: se presentan los resultados y existe una variedad de herramientas que permiten la visualización de los resultados, con una interface gráfica que permite visualizar el dominio, la malla y presenta de forma gráfica las superficies sean estas bidimensionales o tridimensionales con su respectiva animación.

Figura 2:

Estructura del código CFD



Nota: Componentes del pre-proceso, solver y postproceso. Fuente: Oro, J (2012).

2.3. Flow 3D

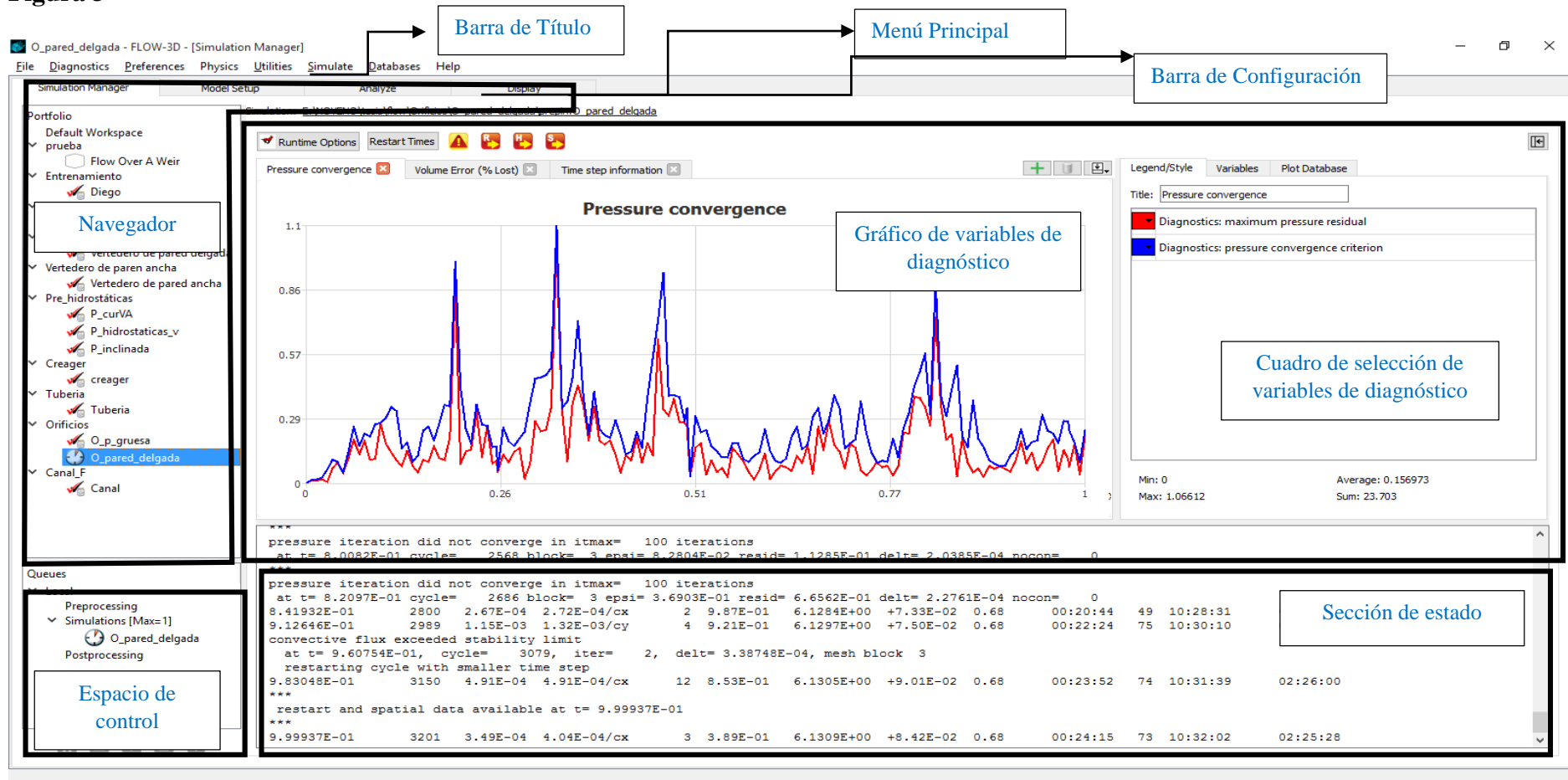
El programa Flow 3D, fue comercializado y desarrollado en 1980 por la compañía Flow Science en Santa Fe, New México, USA, y utiliza métodos numéricos para la resolución de ecuaciones de movimiento de fluidos, el programa puede ser usado para resolver varios problemas hidráulicos como: simulación de fluidos en superficie libre en régimen transitorio, estudios de erosión y depuración de aguas, presas además de permitir el modelado de varias estructuras hidráulicas (Science, 2008).

En el área hidráulica el programa Flow 3D presenta ciertas facilidades como son:

- Modelos de turbulencia
- Arrastre de sedimentos
- Fuerzas gravitacionales
- Marco de referencia no inercial
- Cavitación
- Medios porosos
- Interacción de fluido-estructura completa

2.4. Interface

Figura 3



a) Barra de Título

Se puede visualizar el nombre del programa en ejecución, creación o modificación.

b) Barra de Menú Principal

Dentro del menú principal tenemos submenús tales como:

- **File (Archivo)**

Es el principal menú de opciones para abrir, guardar y cerrar los archivos de simulación.

- **Diagnostics (Diagnóstico)**

Habilita al usuario a ver los archivos de diagnóstico generados por Flow-3D.

Usualmente no es necesario revisar esos archivos.

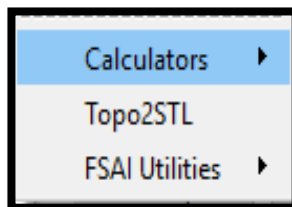
- **Preference (Preferencia)**

Permite al usuario especificar ciertas preferencias para correr Flow-3D

- **Utilities (Utilidades)**

Se puede tener acceso a ciertos programas útiles tales como:

Figura 4



- **Simulate (Simular)**

Es donde los usuarios lanzan ya sea el preproceso o el solucionador para las simulaciones de Flow-3D.

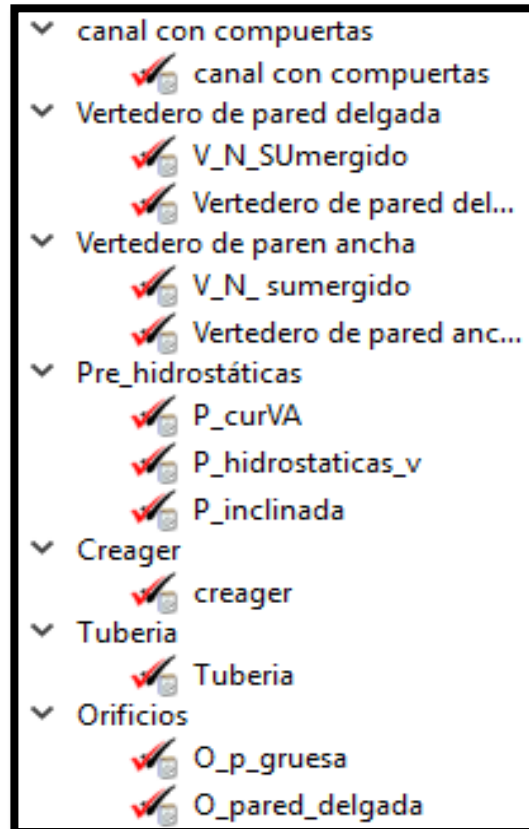
- **Help (Ayuda)**

Ayuda al usuario con información sobre el software Flow-3D, se puede encontrar el manual de usuario de Flow 3D

c) Barra de Configuración de Modelo

En el navegador los usuarios pueden crear espacios de trabajo en los cuales puede haber múltiples archivos de simulación que pueden ser organizados según nuestra conveniencia.

Figura 5



- **Espacio de trabajo**

Contiene los proyectos de simulación y ayuda a organizarlas. Otro beneficio que podemos encontrar en el espacio de trabajo es la habilidad de tener múltiples simulaciones con diferentes condiciones.

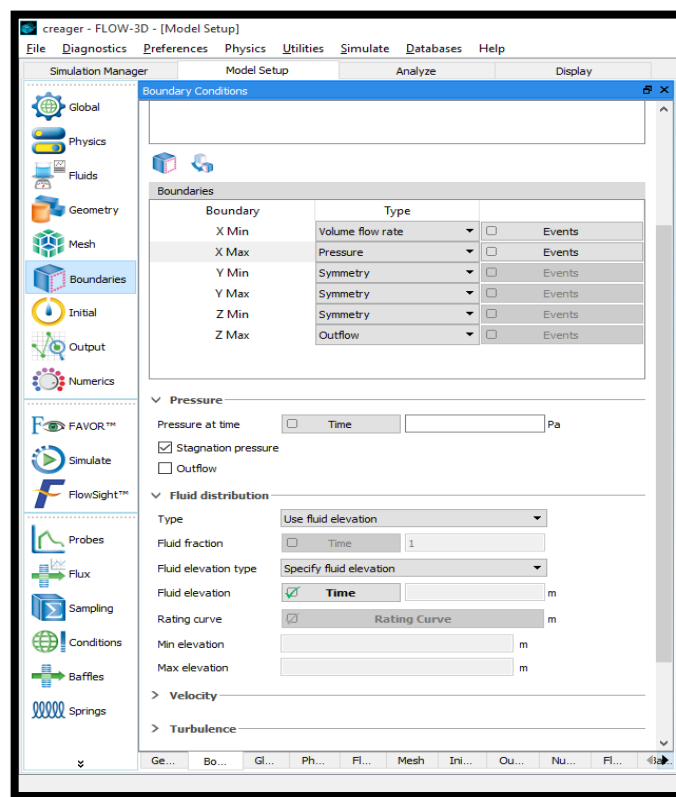
- **Model Setup (Configuración del modelo)**

Es la pestaña en la cual se crea o modifica la simulación, dentro de esta pestaña se encuentra una serie de opciones que permite modificar las condiciones de borde, el

tiempo de simulación, el tipo de fluido a utilizar, el material, la forma y el tamaño que va a tener el mallado.

Dentro de este espacio se introducirán todas variaciones y condiciones que necesite nuestro proyecto, en este punto es recomendable tener o conocer todos estos parámetros para disminuir los tiempos de modelado y tener modelos más eficientes y detallados.

Figura 6

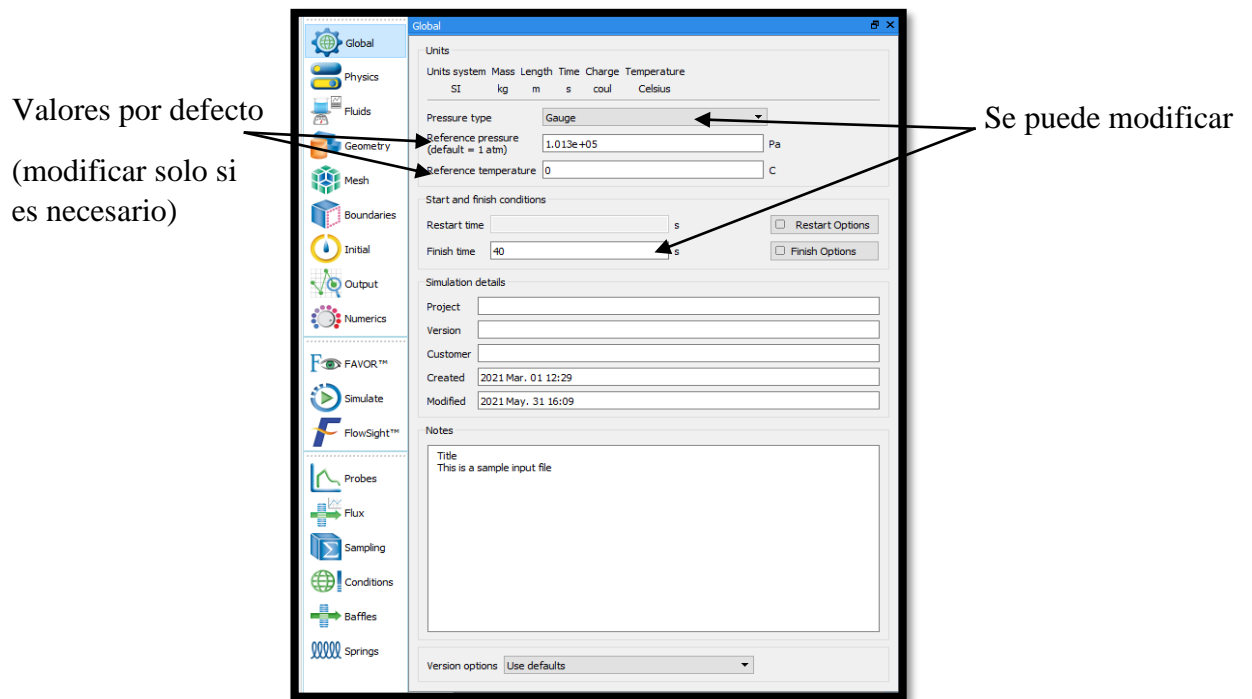


Dentro de Model Setup encontramos varias pestañas como son:

d) Global (Global)

En la cual, podremos ingresar el tipo de presión (atmosférica o específica), una referencia de temperatura y el tiempo total de la modelación.

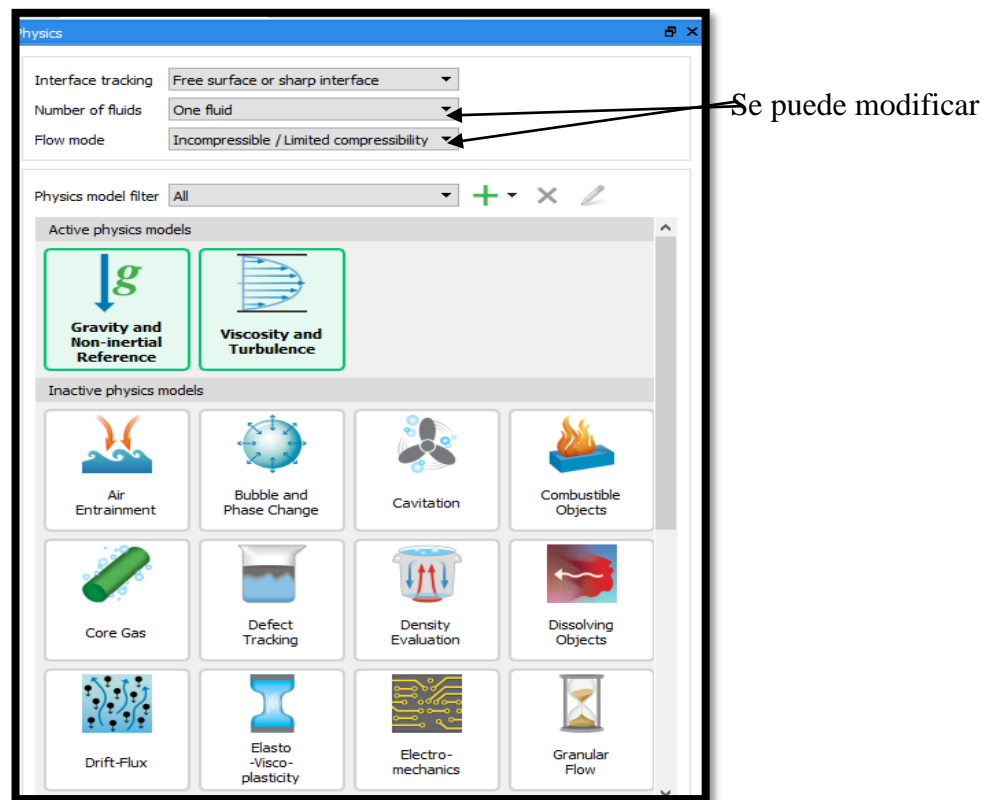
Figura 7



e) Physics (Física)

En esta pestaña el usuario selecciona los modelos físicos a los que estará sometido el modelo numérico, se ingresan valores como la gravedad, el número de fluidos a intervenir (máximo 2), si es requerido dar movimiento a un elemento del sistema o si es necesario introducir aire en el modelo, además se puede establecer el tipo de comportamiento del fluido (turbulento o laminar) y se puede analizar la presencia de cavitación, entre otras características.

Figura 8



f) Fluids (Fluidos)

En esta pestaña es posible seleccionar el tipo de fluido que será usado en la simulación. Existen una gran variedad de fluidos y materiales que se puede utilizar.

Figura 9

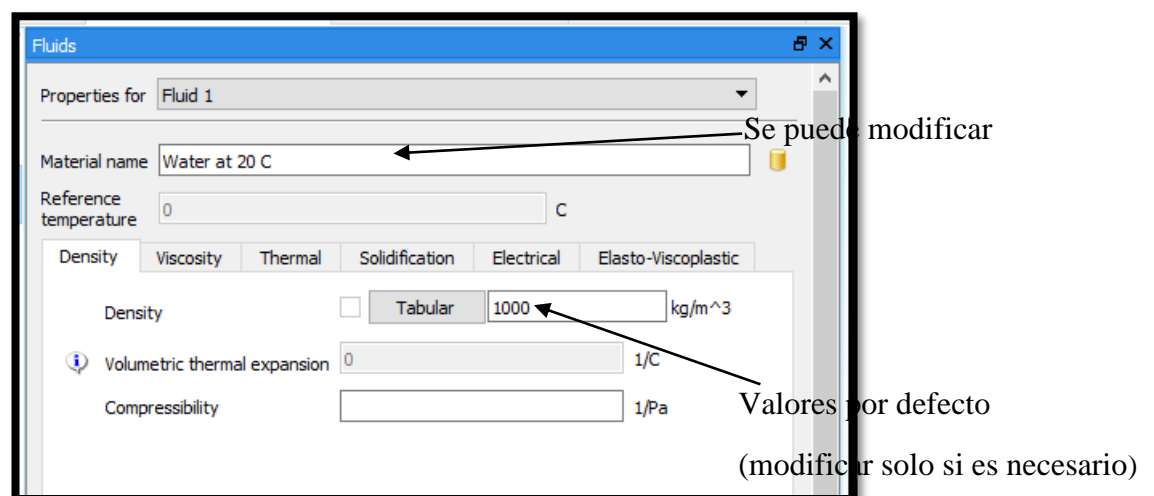
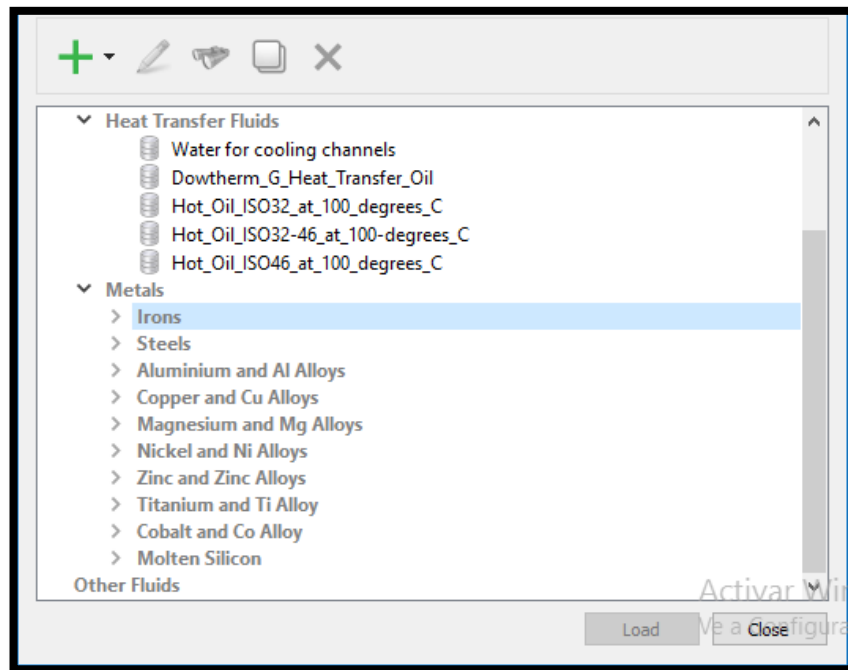


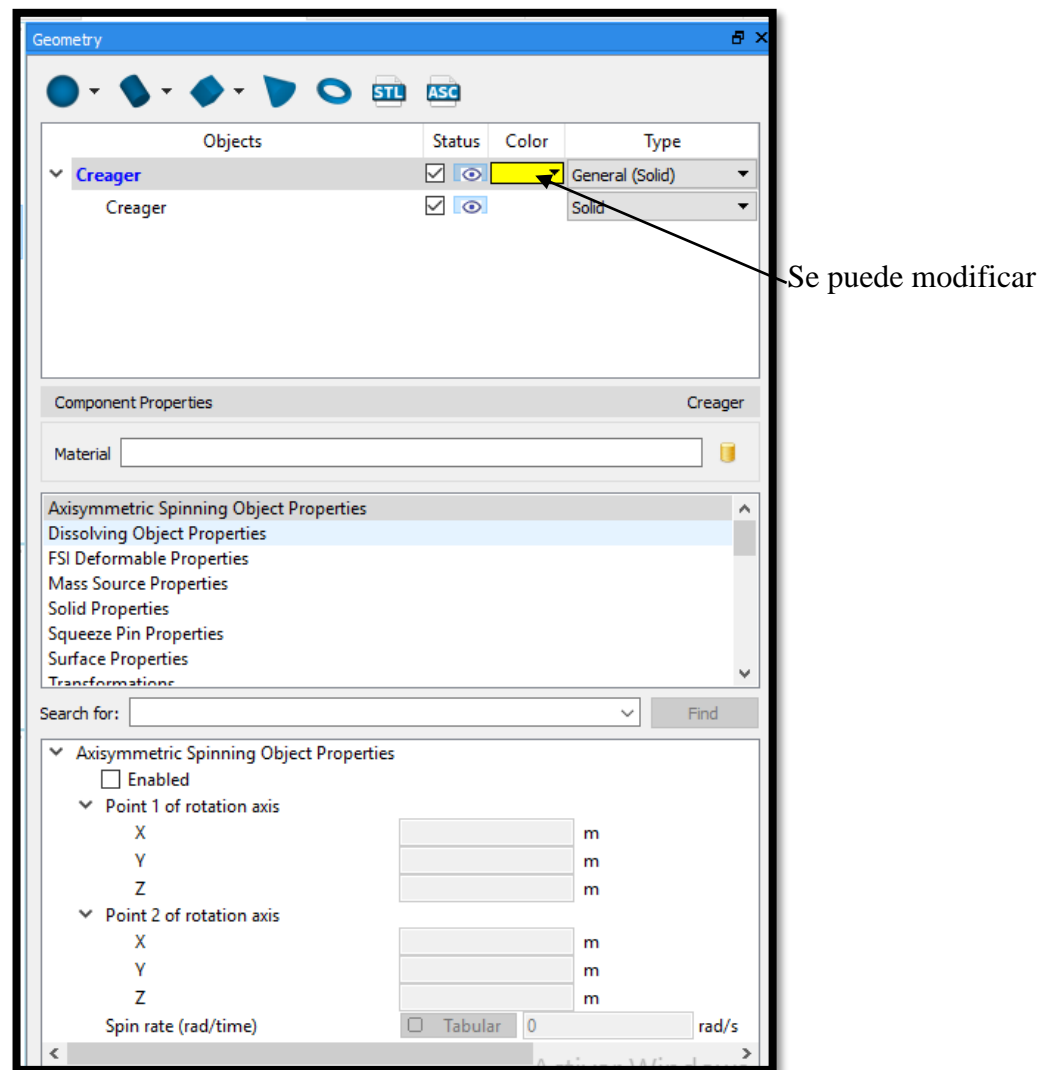
Figura 10



g) Geometry & Mesh (Geometría y Malla)

En esta pestaña se pueden crear o importar archivos con la geometría para usar en la modelación y se puede crear el mallado de cálculo computacional, en esta pestaña es posible especificar las cantidades, propiedades tales como la conductividad térmica, rugosidad absoluta, coeficientes de transferencia de calor y propiedades del objeto en movimiento.

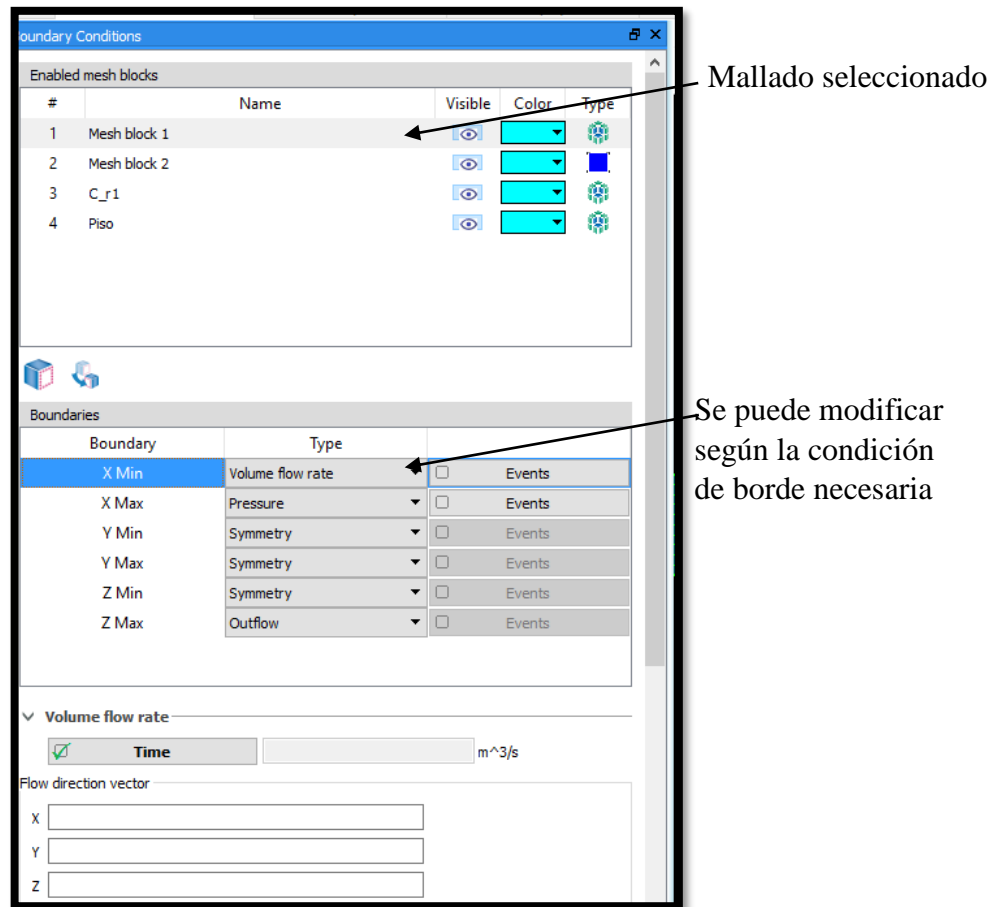
Figura 11



h) Boundaries (Límites)

En esta pestaña daremos las condiciones de borde de los límites del dominio computacional, tales como el caudal, alturas de agua, presiones, temperatura y velocidad.

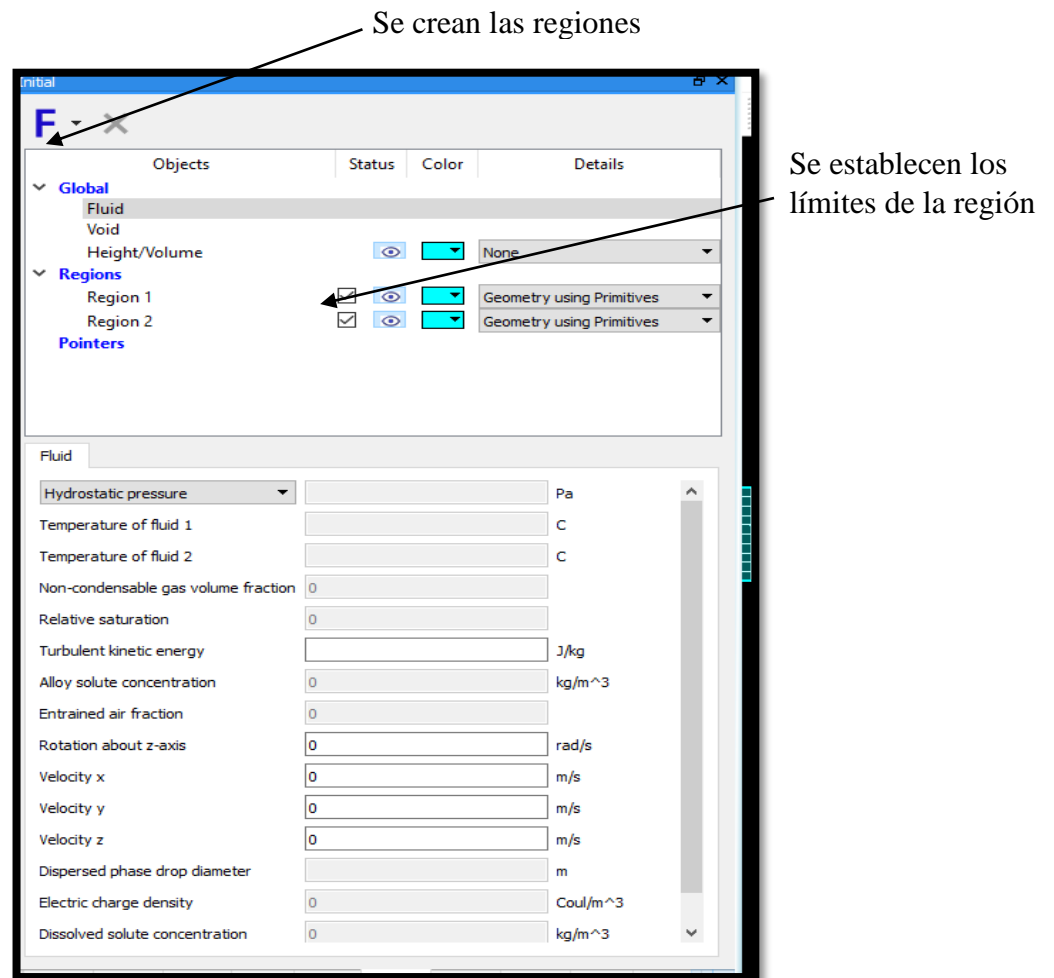
Figura 12



i) Initial (Inicial)

En esta pestaña es posible ingresar las condiciones iniciales tales como un volumen inicial de fluido, la velocidad, presión y temperatura.

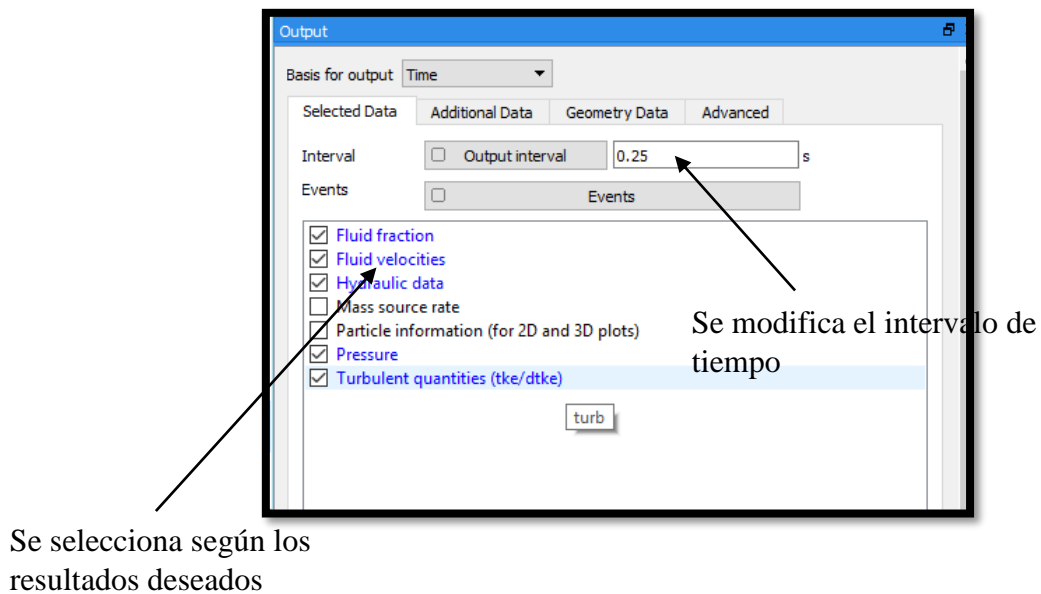
Figura 13



j) Output (Salida)

En esta pestaña se selecciona el tipo de resultados que queremos apreciar u obtener dentro de la simulación, esto está directamente relacionado con el tiempo que tardara en obtener los resultados.

Figura 14

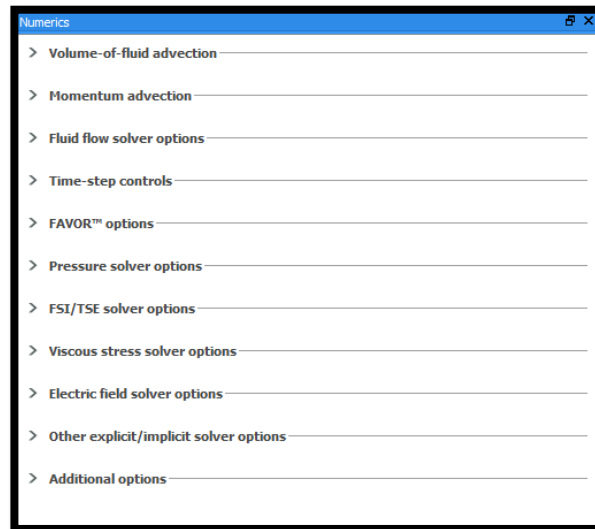


Dentro de esta pestaña encontramos sub pestañas, en las cuales tendremos la posibilidad de determinar los intervalos de tiempo en los cuales se presentarán los resultados y que resultados queremos obtener tales como presión, velocidad, turbulencia, caudal, etc.

k) Numerics (Numérico)

En esta pestaña podremos modificar los parámetros asociados con los métodos numéricos usados en la modelación. “Se recomienda que los usuarios básicos no cambien la configuración de esta pestaña debido a que el programa viene con la mejor opción de solución”.

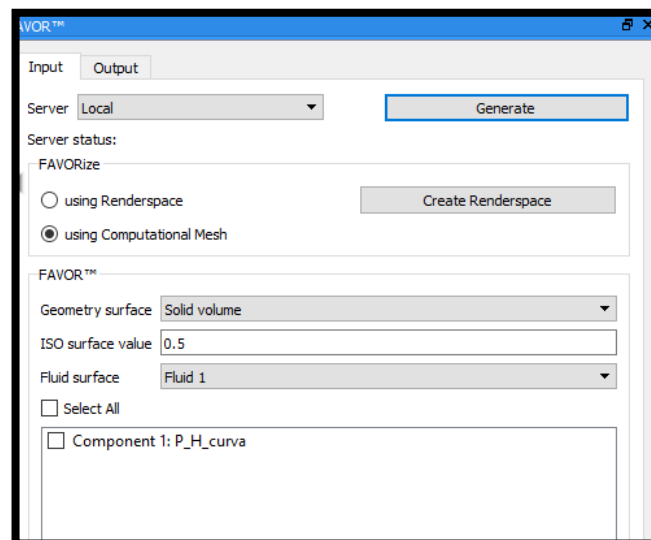
Figura 15



l) Favor

En la pestaña de Favor el usuario puede realizar una pre visualización del dominio del fluido, así como la pre visualización de la geometría a ser computada.

Figura 16



3. Configuración del modelo numérico

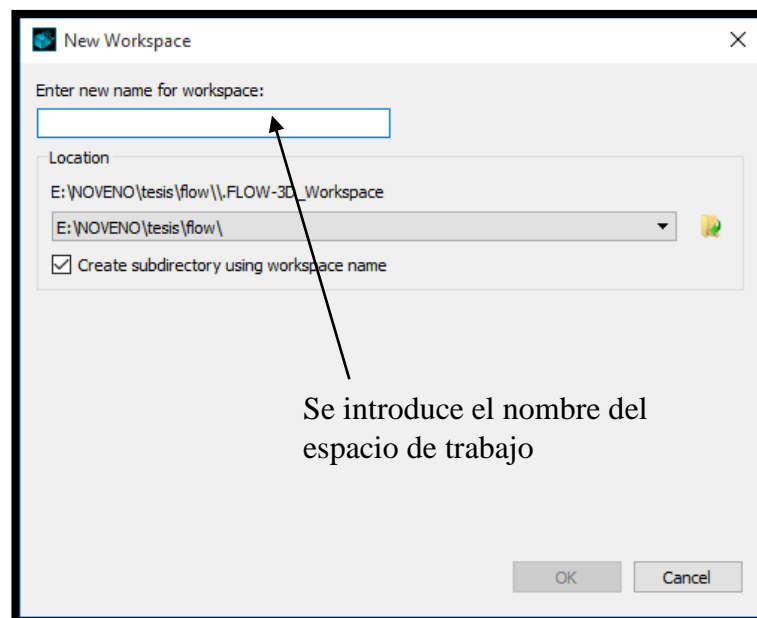
Para la modelación de las diferentes obras hidráulicas se estableció una serie de pasos que se repetirán en cada obra hidráulica, pero con una variación en sus datos o condiciones de entrada.

3.1. Configuración general del modelo

Crear la geometría de cada obra hidráulica modelar con las dimensiones reales en 3D y guardar la figura en un formato específico (. Stl), para cargar posteriormente la geometría en el programa Flow 3D.

- a) Dentro del programa Flow 3d, se crea en el Navegador un New Workspace, en el cual se pueden añadir nuevas simulaciones para las diferentes estructuras hidráulicas con sus respectivos nombres y que permite escoger el lugar donde se guardarán los archivos correspondientes a nuestra simulación.

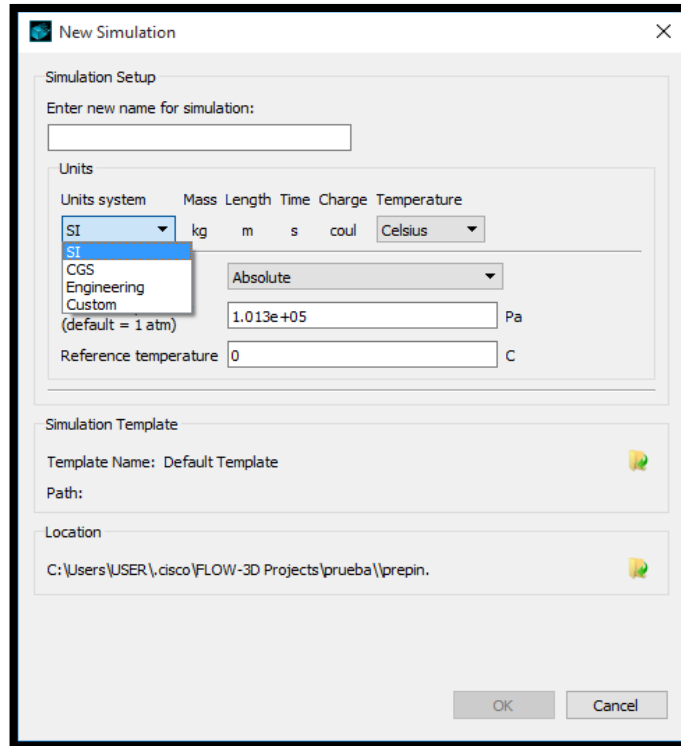
Figura 17



- b) Con el espacio de trabajo creado se procede a crear una simulación dentro del mismo. En este punto se puede asignar un nombre a la simulación, seleccionar el

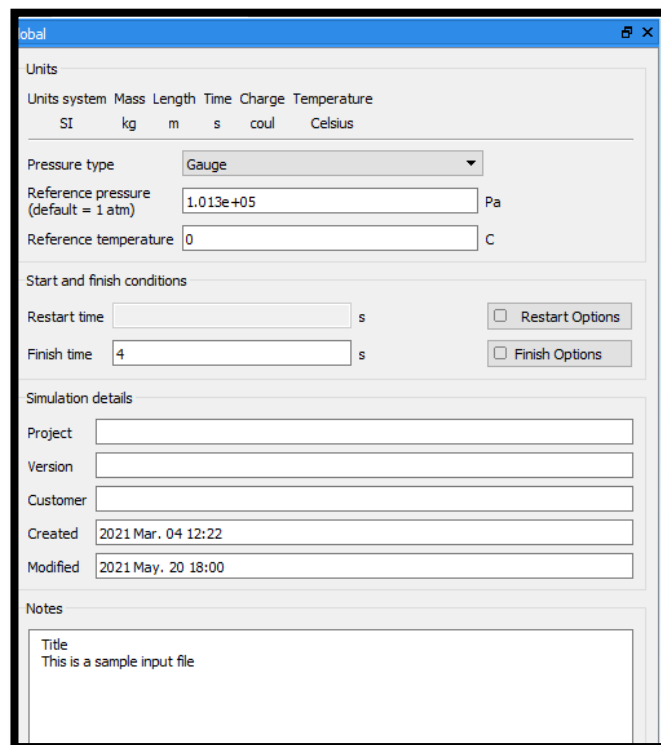
tipo de unidades (SI, CGS, Engineering y Custom), si se quiere trabajar con presión manométrica o atmosférica.

Figura 18



- c) Posterior a crear y dar un nombre a nuestro archivo de simulación, se ingresa a la pestaña de **Model Setup** dentro de la cual escogemos la opción **Global**, aquí se puede seleccionar el tipo de presión, la temperatura de referencia a la que se encontrará la obra hidráulica y se puede ingresar el tiempo que durará nuestra simulación.

Figura 19



d) El paso siguiente es avanzar a la pestaña **Physics** en la cual se puede seleccionar el número de fluidos que se involucraran en nuestra simulación, se puede ingresar ciertas características tales como: si el fluido es incompresible o compresible.

Figura 20

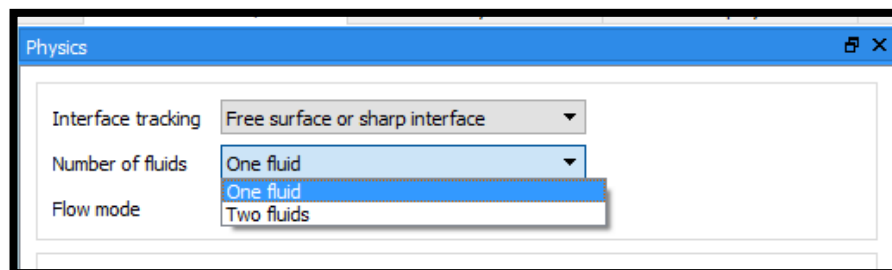
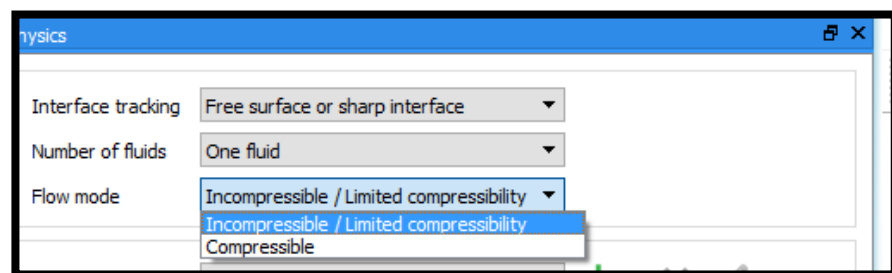


Figura 21



Lo siguiente que se puede seleccionar son los modelos físicos a las cuales estarán sometidos nuestras simulaciones, en este caso se seleccionaron los modelos de gravedad, viscosidad y turbulencia para todas las obras hidráulicas presentes en este manual.

Figura 22

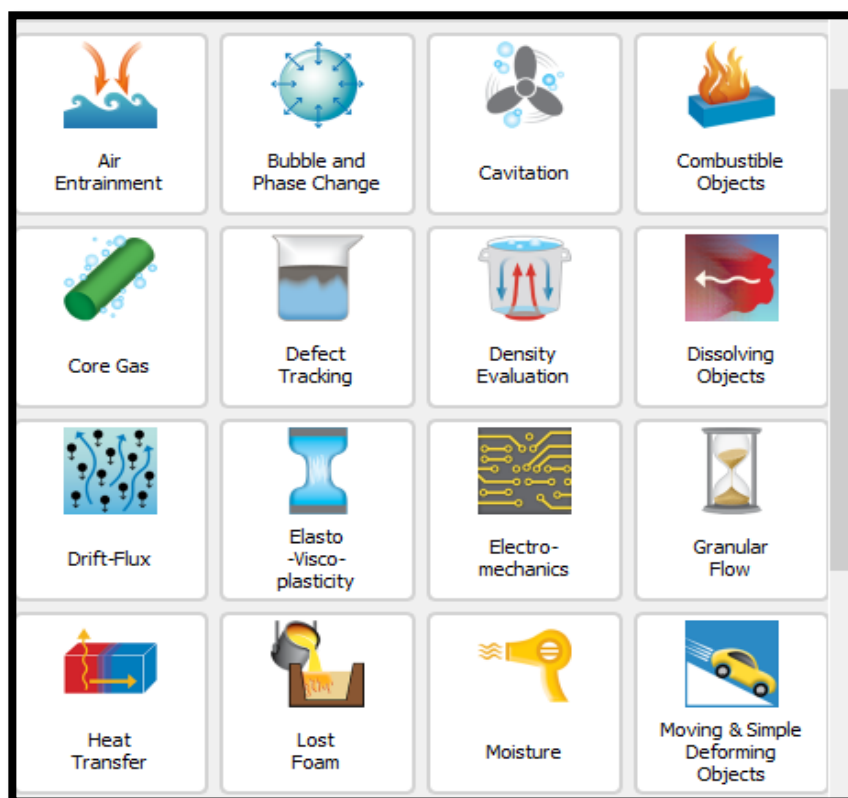
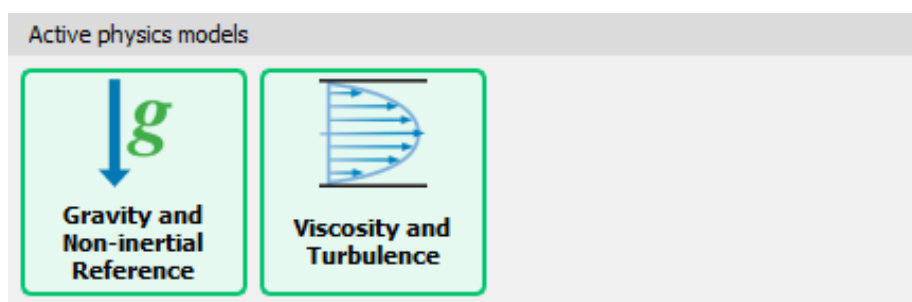
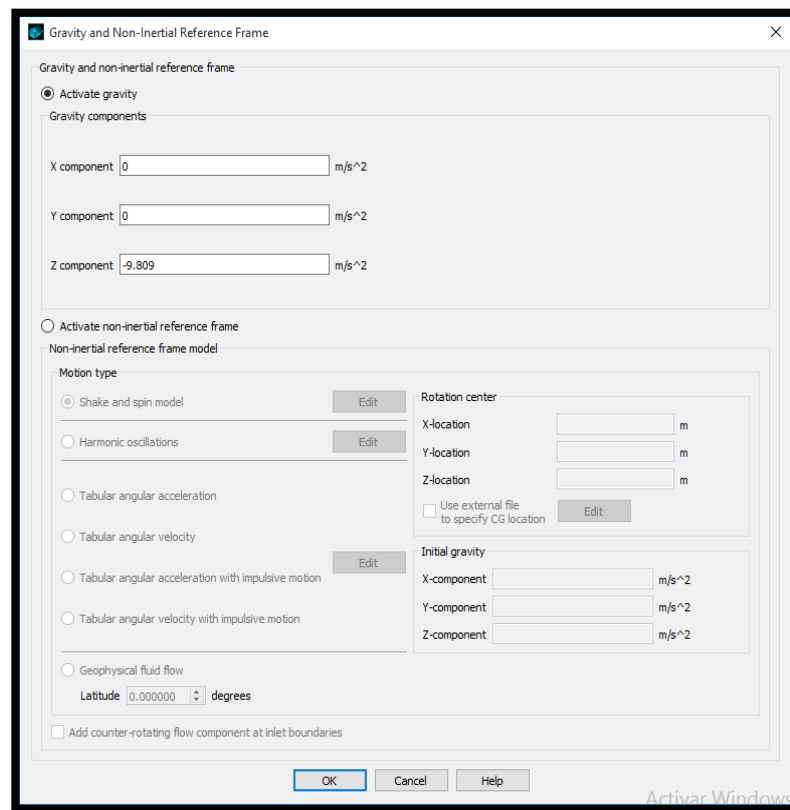


Figura 23



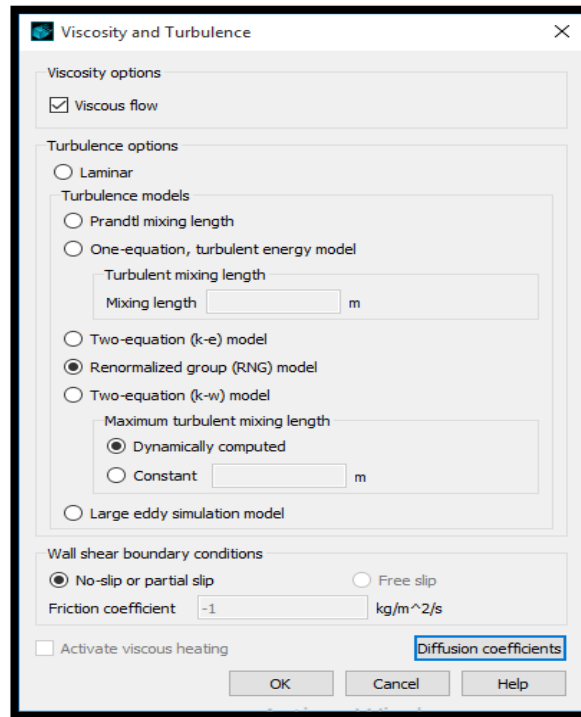
Para configuración del modelo físico de la gravedad, al seleccionarla se desplegará una ventana en la cual se puede activar este modelo y seleccionar la dirección en la cual actuara la gravedad, para el presente manual se usó una gravedad en dirección $Z=-9.809$, para coincidir con los ejes de la geometría.

Figura 24



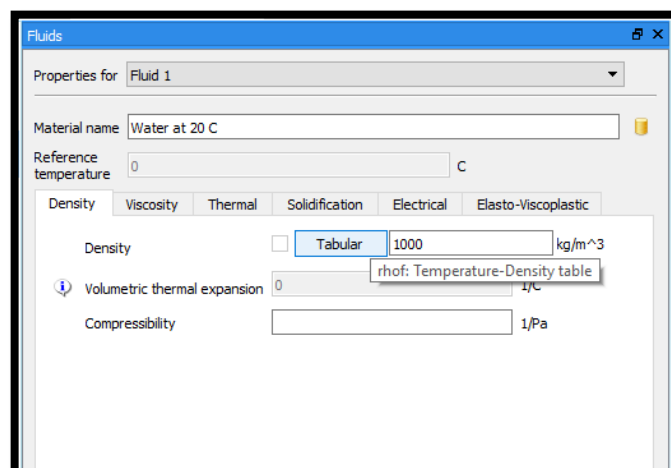
Para la configuración de la viscosidad y turbulencia, al seleccionar este modelo se desplegará una ventana que permite activar este modelo físico y seleccionar el tipo de modelo de turbulencia que se requiera, para la configuración de las obras hidráulicas de esta manual se usó el modelo de turbulencia RNG.

Figura 25



e) Posteriormente en la pestaña de Fluids, se selecciona el fluido que usará nuestra simulación, para las obras hidráulicas mencionadas en este manual se empleó agua a una temperatura de 20°C y no se realizó ninguna otra modificación a la seleccionada.

Figura 26



3.2. Configuración de la geometría y mallado

- a) Ahora en la pestaña de geometría se puede cargar el modelo(geometría), para esto se selecciona el icono donde se notan las letras STL y se abrirá una nueva ventana en la cual se puede colocar el nombre que se visualizará en nuestro modelo, para cargar el archivo seleccionamos la opción add y buscamos el archivo con la geometría.

Figura 27

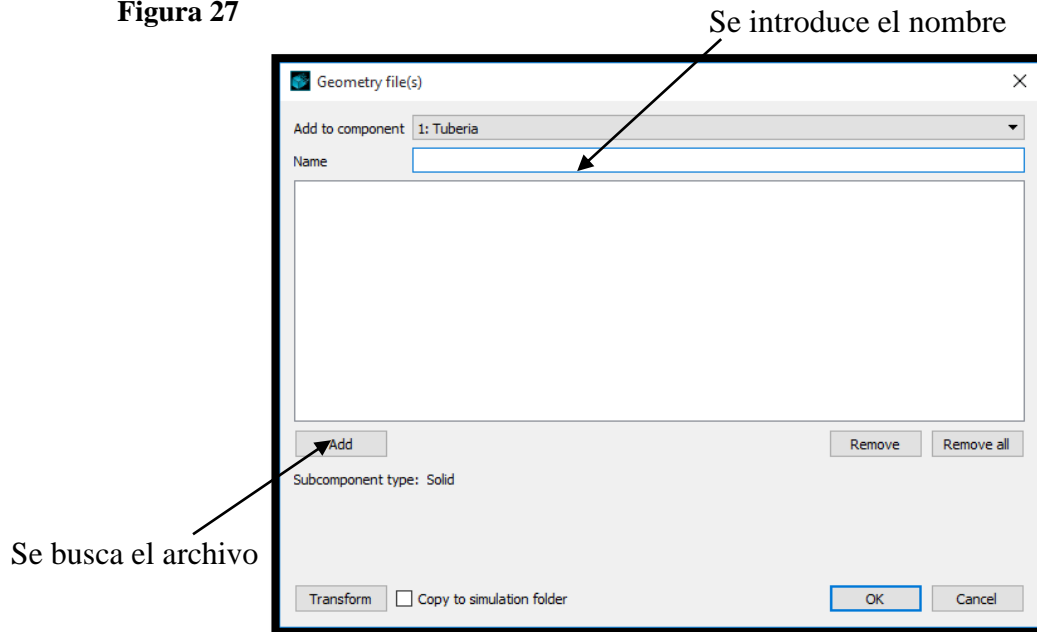


Figura 28

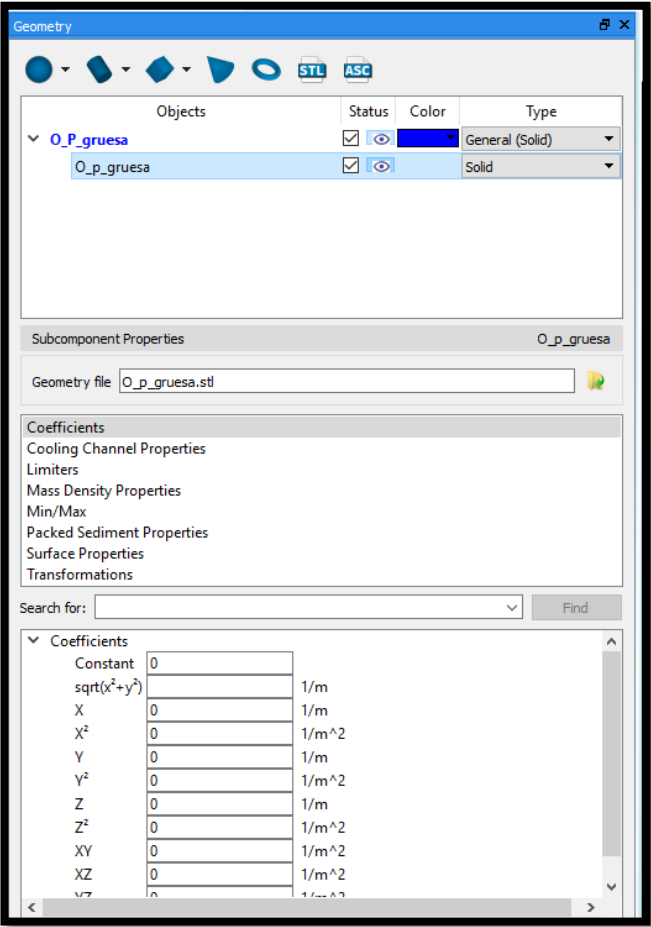
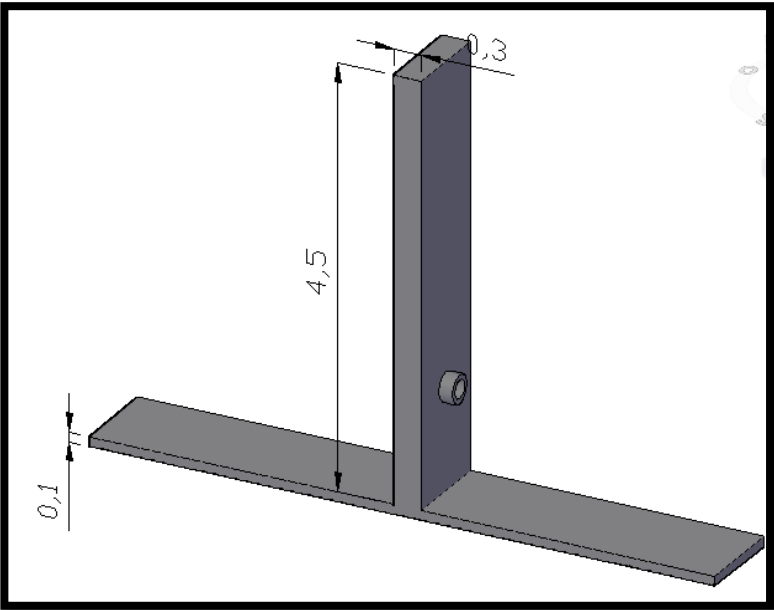


Figura 29



b) Después nos dirigimos a la pestaña Mesh donde se selecciona el tamaño de las celdas y los límites, cabe notar que a menor tamaño de celda se tiene una mejor apreciación visual, pero del mismo modo aumentará el tiempo en que se presentaran los resultados. Los límites que tendrá el mallado estarán basados en la geometría y las condiciones que vayan a tener cada obra hidráulica.

Si es requerido una zona con un mayor detalle es posible establecer un mallado anidado que debe mantener una relación de 2:1 respecto al mallado general.

Figura 30

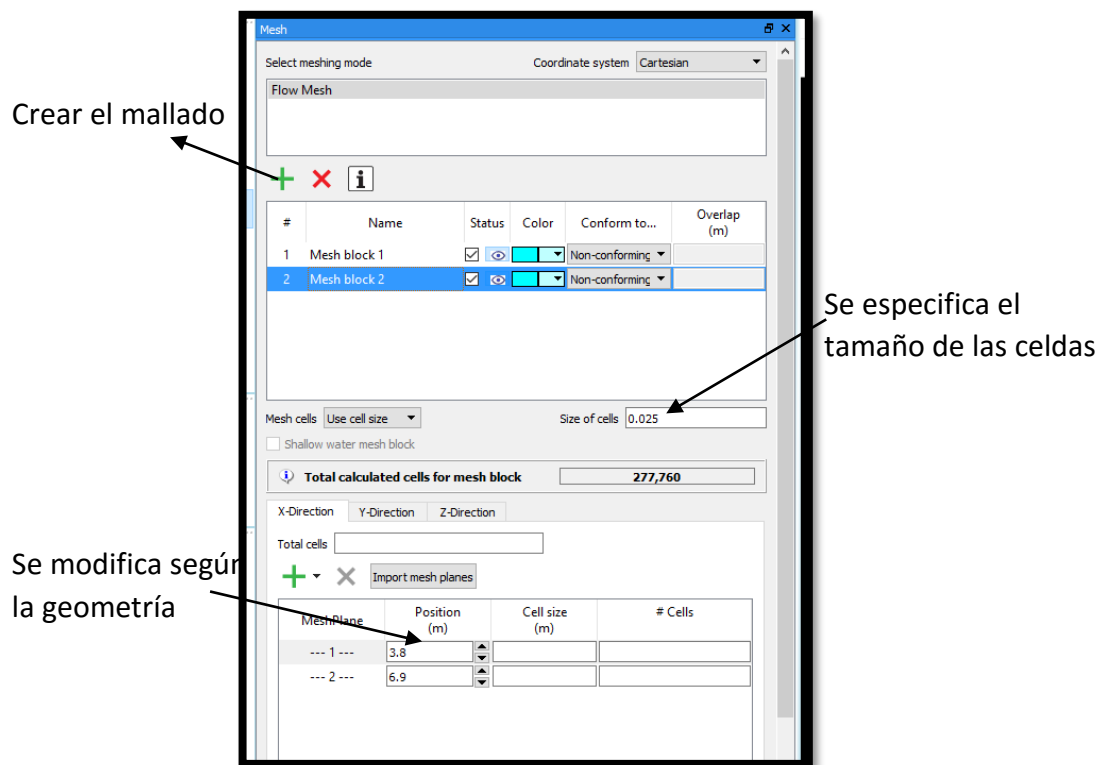
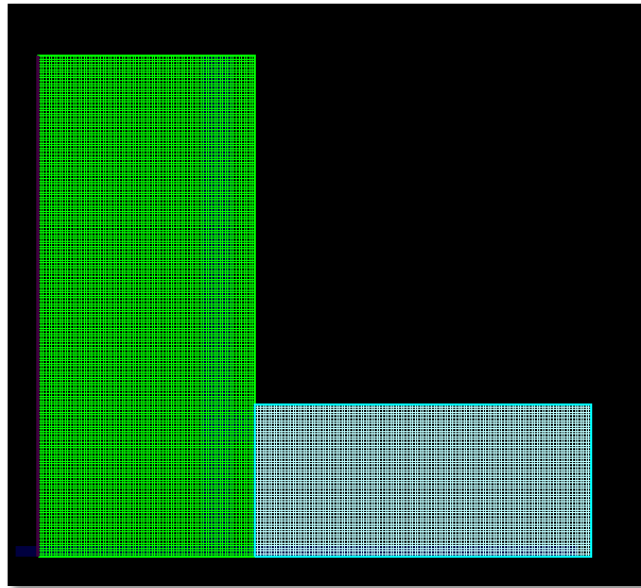
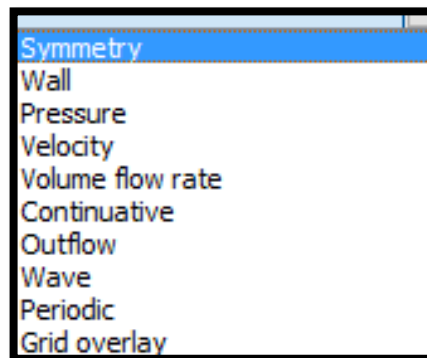


Figura 31



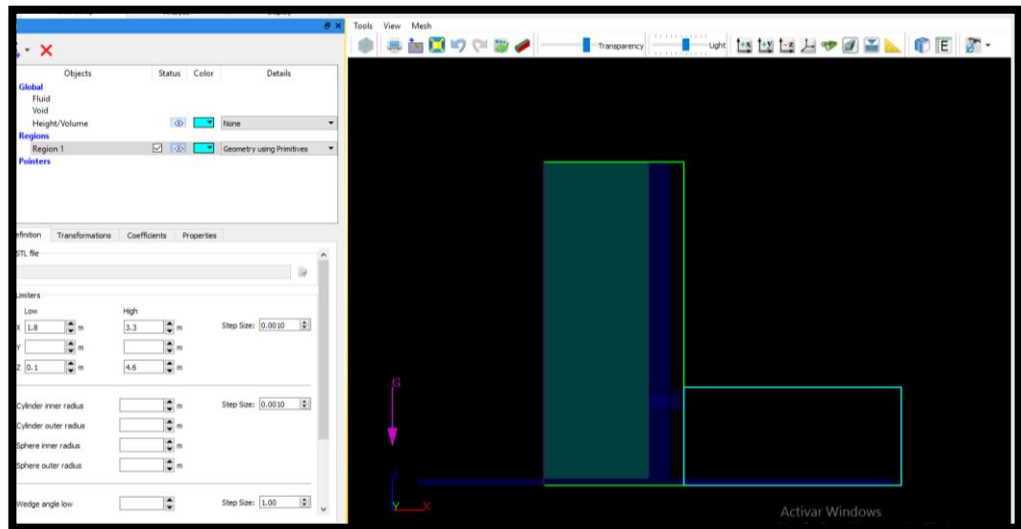
- c) Con el mallado establecido, pasamos a la pestaña siguiente **Boundaries**, en esta pestaña se establecen las condiciones límites o de borde que posera el mallado, con estas condiciones iniciara la simulación, estas pueden ser estas colocadas al inicio o la final del mallado, dentro de las mismas podemos encontramos:

Figura 32



- d) Con las condiciones de borde seleccionadas se procede a la siguiente pestaña Initial, en la cual se puede crear un volumen inicial de fluido el cual ayudará en la reducción de tiempos de cálculo y nos permitirá establecer cotas iniciales del fluido.

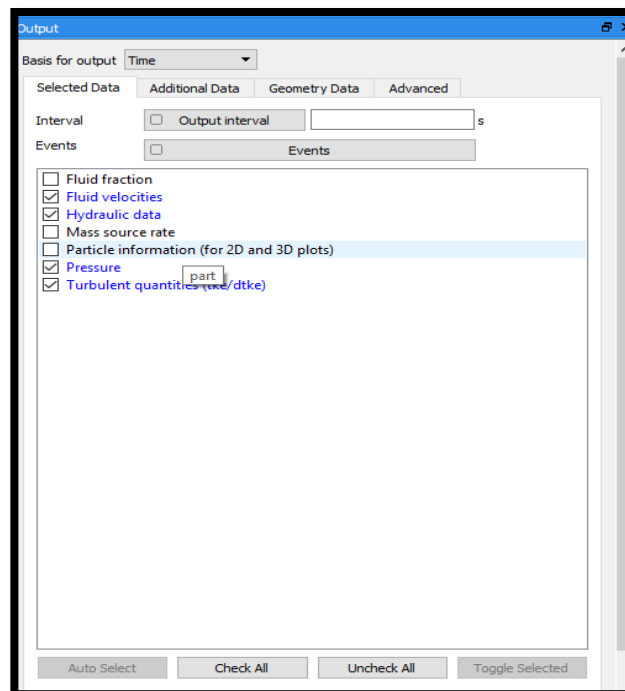
Figura 33



3.3. Presentación de resultados

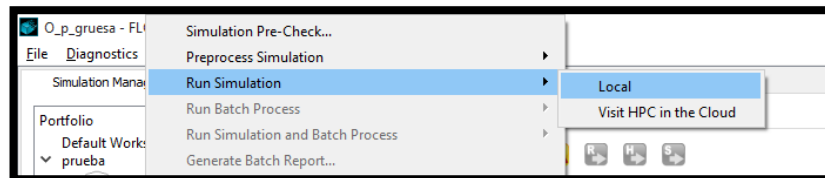
- a) Para finalizar la configuración de la simulación, entramos a la pestaña de Output, esta pestaña permite seleccionar que tipos de resultados deseamos obtener en la simulación y determinar el intervalo de tiempo en el que se obtendrán los resultados.

Figura 34



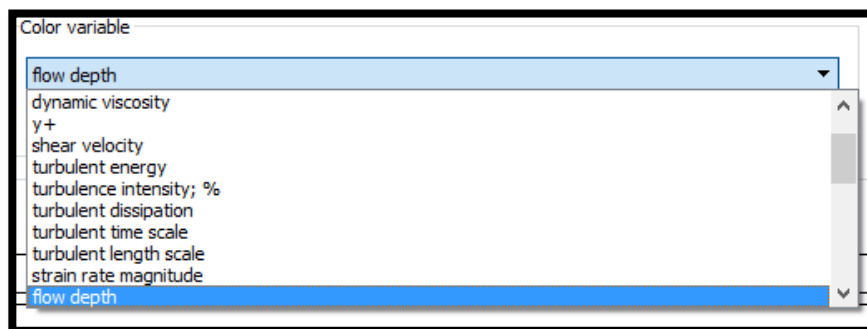
- b) Con la configuración terminada, se inicia la simulación, para esto nos dirigimos a la pestaña Simulation Manager, dentro del espacio de trabajo encontramos el archivo de simulación, lo seleccionamos y se desplegará un menú opcional donde escogeremos la opción de Run Simulation - Local y empezará la simulación.

Figura 35



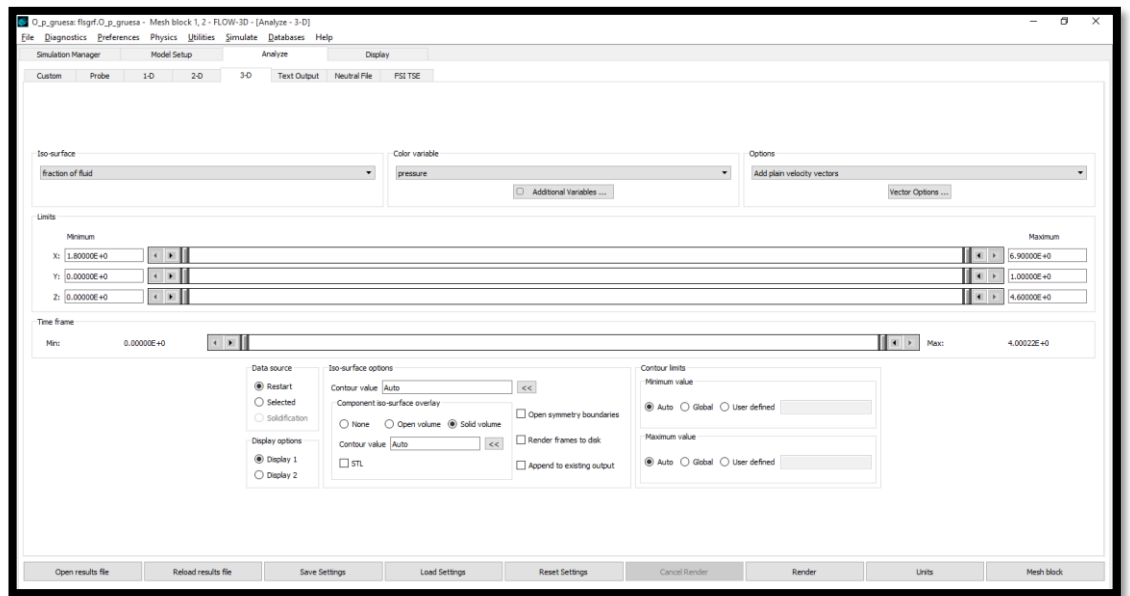
- c) El tiempo de la simulación está determinado por el tamaño de las celdas del mallado y de la cantidad de resultados a presentar. Cuando la simulación concluya se habilitará la pestaña de Analyze, en esta pestaña se determina qué resultados deseamos presentar en la simulación tales como: presión, velocidad, nivel de agua, caudal, etc.

Figura 36



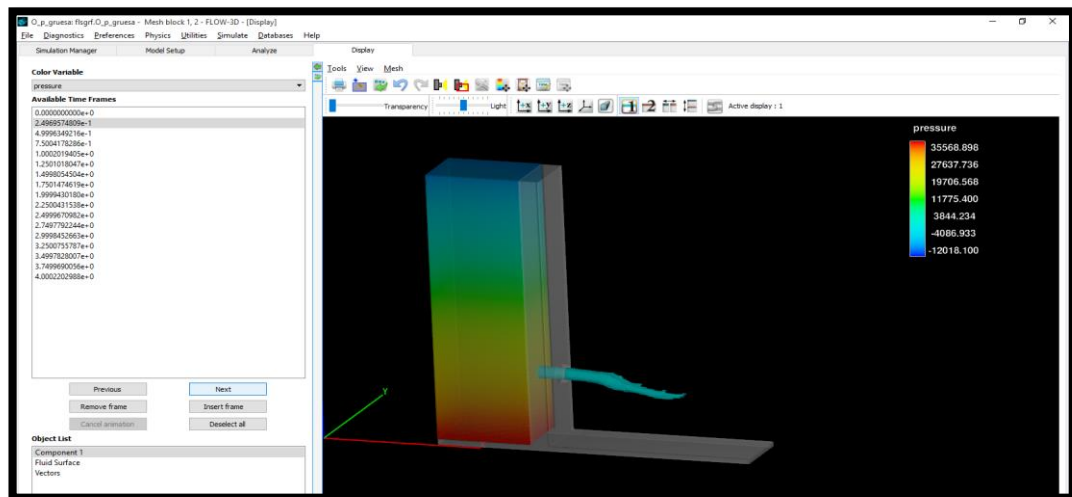
También se nos permite determinar desde que intervalo de tiempo se desea visualizar el comportamiento de la obra hidráulica o si es necesario visualizar los resultados en forma textual o gráfica.

Figura 37



- d) Con los datos seleccionados a visualizar nos dirigimos a la opción de Render, en esta opción el programa nos proporciona la simulación con los parámetros previamente seleccionados y los resultados de forma gráfica o textual.

Figura 38



- e) En la pestaña Display podemos visualizar los resultados y si es requerido se puede analizar una zona en específico usando la opción Slice.

Seleccionado la opción Slice se despliega una ventana, dentro podremos seleccionar los límites tanto en x, y, z, para el análisis.

Figura 39

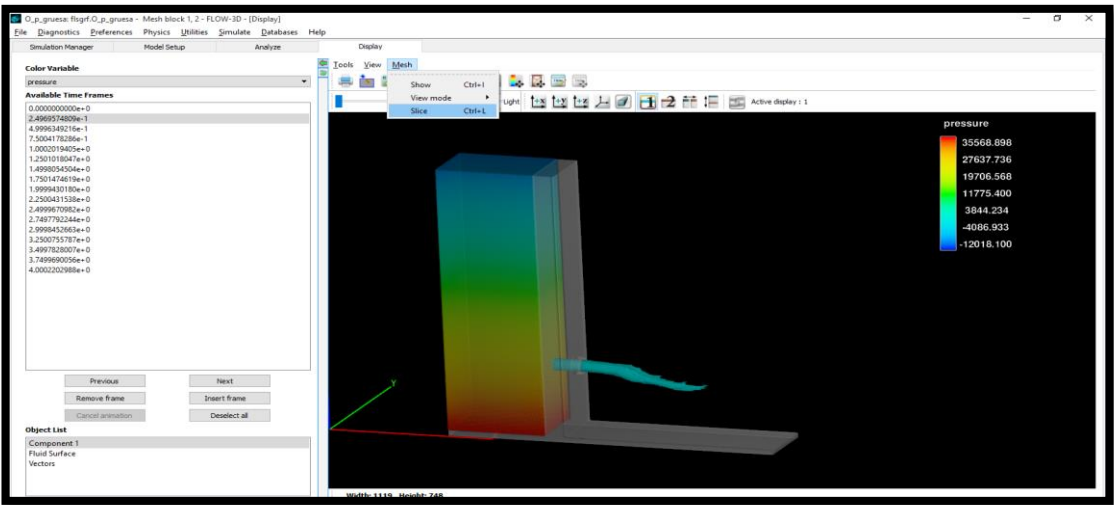


Figura 40

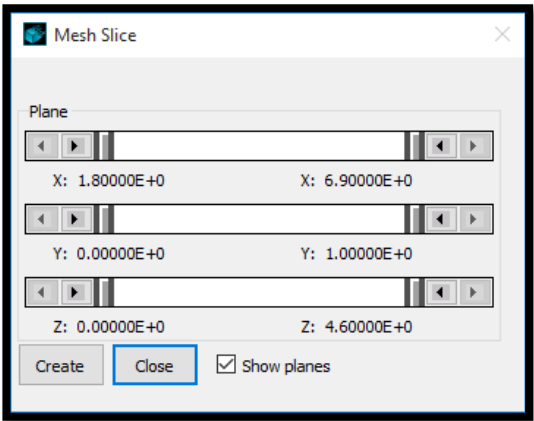
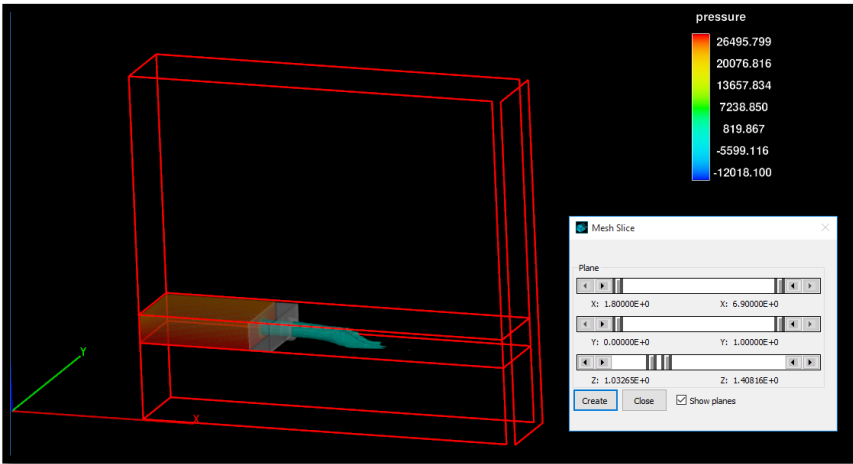


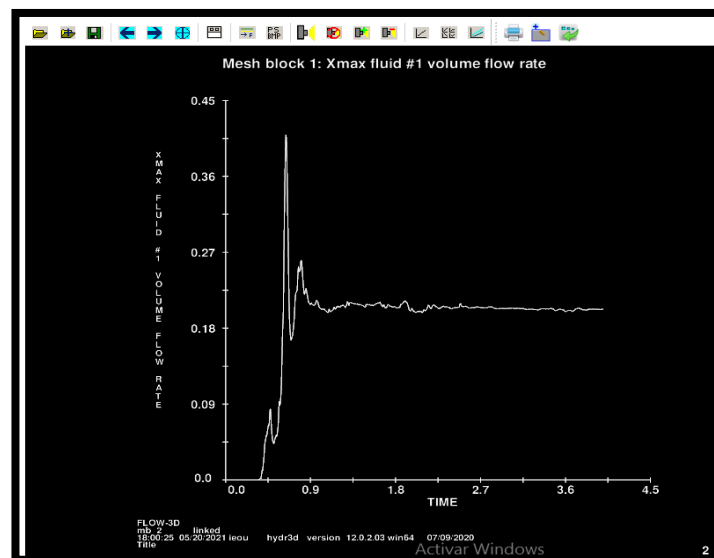
Figura 41



- f) Para un presentación gráfica o textual de los resultados, se selecciona la pestaña de Analyze y a la sub pestaña Probe, la cual desplegara una serie de opciones donde se puede seleccionar que tipo de resultado deseamos obtener, en que lapso de tiempo lo queremos y en qué forma lo queremos (gráfica o textual).

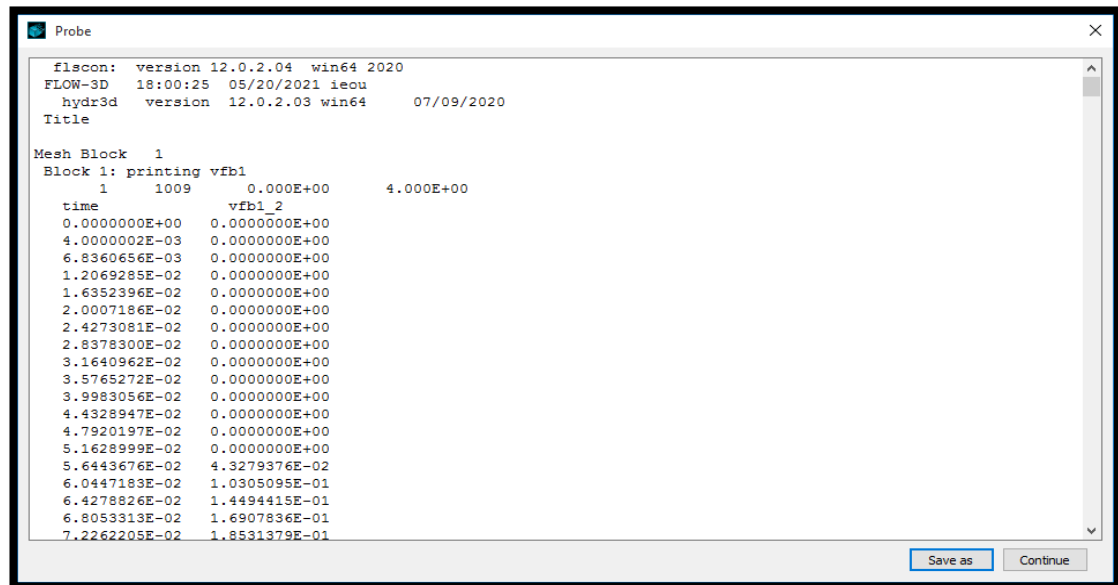
Gráfico:

Figura 42



Texto:

Figura 43



Nota: para todas las prácticas, el procedimiento presentado en esta parte es relativamente semejante por ende se recurrirá a señalar ciertos literales de esta configuración en las siguientes prácticas.

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Ejemplo de práctica N° 1

Hoja de resultados

ASIGNATURA: Mecánica de Fluidos e Hidráulica Aplicada

TEMA: Introducción al Flow 3D

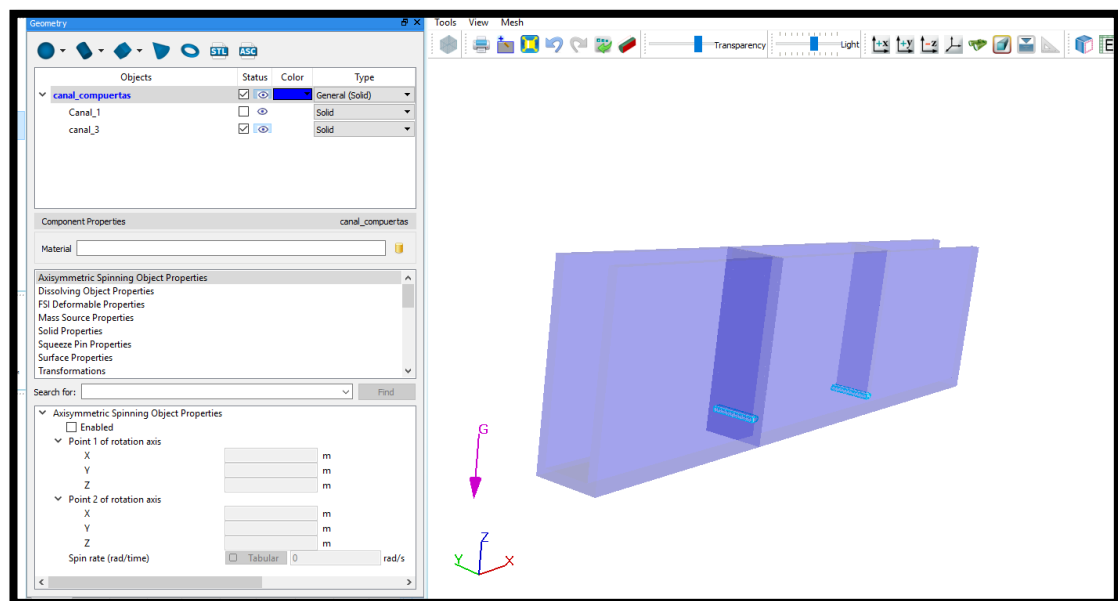
NOMBRE:

FECHA:

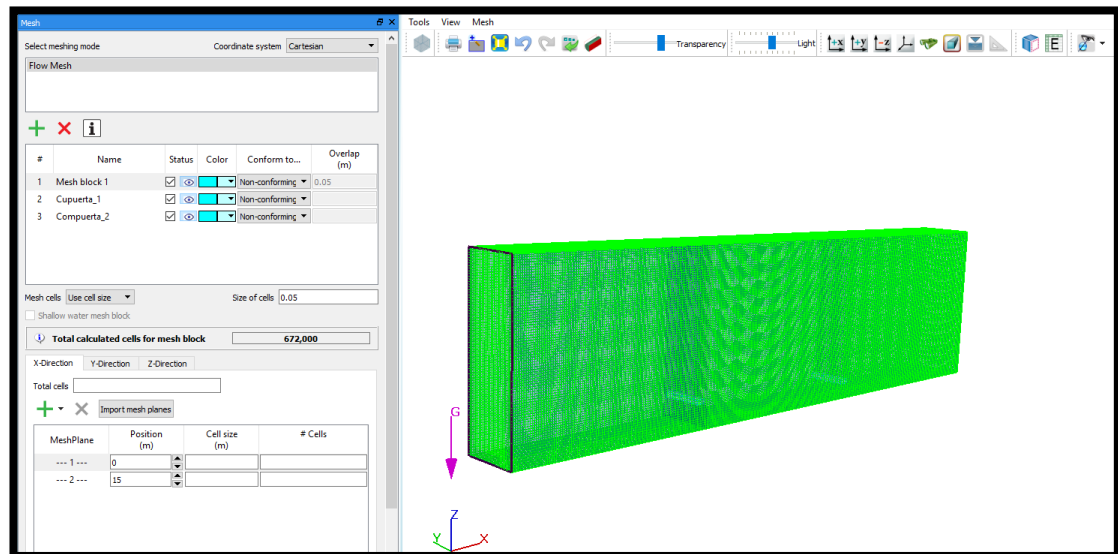
GRUPO:

Actividades:

1. Presentar una captura de cualquier geometría cargada en el programa Flow 3D.

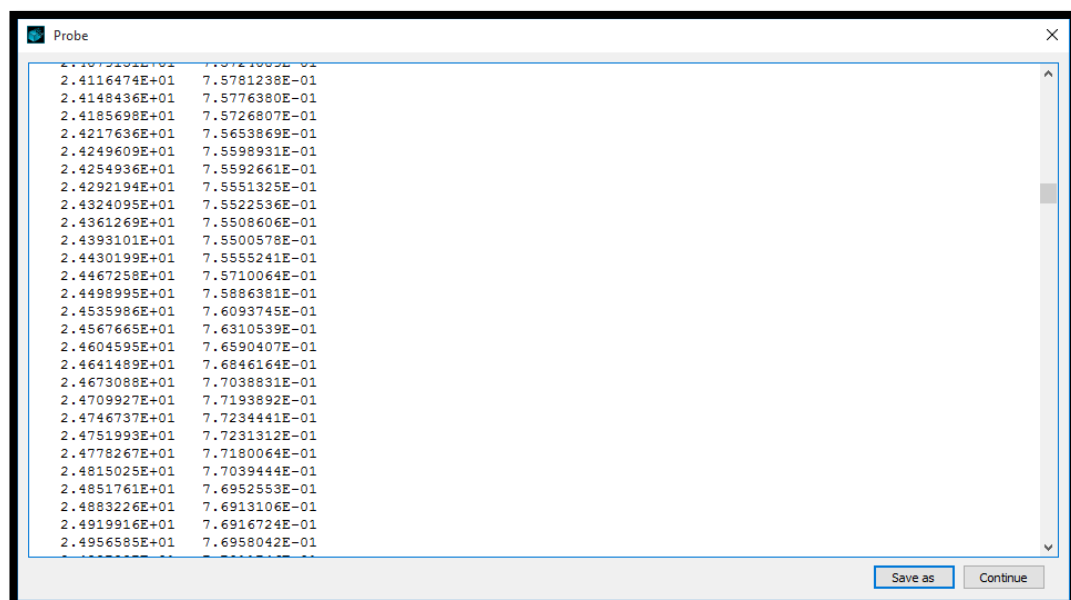


2. Presentar una captura con el mallado que se le proporcionó a la geometría previamente cargada.

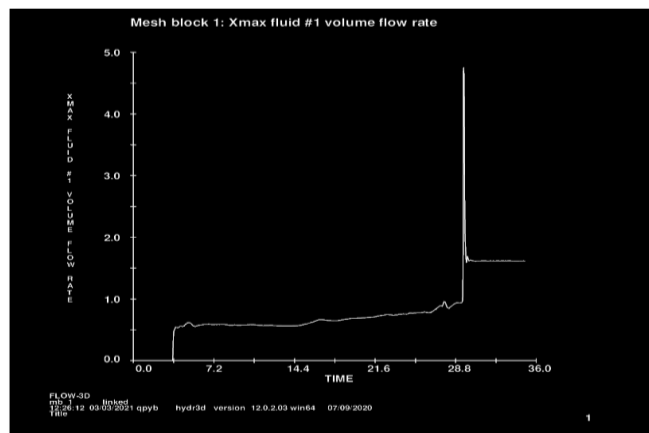


3. Presentar una captura de los resultados: Caudal de forma gráfica y de forma textual.

Forma textual



Forma gráfica



CONCLUSIONES:

- El programa Flow 3D nos permite visualizar un comportamiento muy aproximado del prototipo además de poder observar de varias formas los resultados y en diferentes puntos.
- El uso de la dinámica de fluidos computacional nos permite usar los ordenadores para un análisis de los movimientos de fluidos y obtener resultados aproximados de las ecuaciones que rigen el comportamiento de los fluidos.

RECOMENDACIONES:

- Se recomienda que al realizar el mallado este ocupe el área necesaria del modelo para no incurrir en una cantidad de cálculos mayor, lo que aumentará en cierta medida el tiempo de cálculo.
- Es recomendable crear un mallado anidado si se requiere presentar de manera más detallada una zona en específico, para este caso se debe cumplir que el mallado específico este alineado con el mallado general y que se dé una relación entre el mallado general y el específico de 1:2.

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Práctica N° 1

Hoja de resultados

ASIGNATURA: Mecánica de Fluidos e Hidráulica Aplicada

TEMA: Introducción al Flow 3D

NOMBRE:

FECHA:

GRUPO:

Actividades:

- 1. Crear un espacio de trabajo y realizar la configuración general, cargar una geometría en el programa Flow 3D, presentar una captura de pantalla.**
- 2. Colocar el mallado correspondiente a la geometría cargada previamente y presentar una captura de pantalla.**
- 3. Realizar la configuración para la presentación de resultados y tomar una captura de pantalla de los resultados en forma textual y en forma gráfica de las distintas características hidráulicas como velocidad, presión calado, etc.**

CONCLUSIONES:

RECOMENDACIONES:

PRÁCTICA N°2

TEMA: ORIFICIOS DE PARED DELGADA Y GRUESA

1. Objetivos:

- 1.1.** Simular el comportamiento de un orificio de pared delgada y un orificio de pared gruesa usando el Software Flow 3D.
- 1.2.** Comparar los resultados obtenidos mediante el uso del programa Flow 3D y los resultados obtenidos aplicando la teoría presentada.

2. Método

- 2.1.** Realizar el diseño 3D del orificio de pared delgada y pared gruesa.
- 2.2.** Usando el diseño en 3D del orificio de pared gruesa o pared delgada, se subirán estos archivos al Software Flow 3D para su análisis.
- 2.3.** Realizar la comprobación de los resultados obtenidos con el Software y los obtenidos en base a la teoría.

3. Marco teórico

3.1. Definición

Los orificios son elementos hidráulicos que se caracterizan por tener una forma definida y un perímetro cerrado, para que sean considerados elementos hidráulicos deben estar por debajo de un cuerpo de agua, siendo estos tanques de almacenamiento, embalses, canales o como medio de transporte de un líquido por una tubería. Los orificios destacan en estructuras hidráulicas porque permiten aflorar fluidos, para que las pérdidas sean despreciables en los orificios se debe considerar que el volumen de agua es grande y que el caudal de entrada es igual al de salida (Arreaga & Mantilla, 2016).

3.1.1. Formulas aplicadas en orificios

Caudal

El gasto descargado por el orificio es:

$$Q = C_d * A * \sqrt{2gH}$$

Donde:

Q = Caudal de descarga

C_d = Coeficiente de descarga

A = Área de la sección

H = Carga Hidráulica (desde la superficie hasta el centro del orificio)

Coeficientes de velocidad

Es la relación que existe entre la velocidad media real y la velocidad teórica.

$$C_v = \frac{V_R}{V_T} = \frac{V_R}{\sqrt{2gH}}$$

Coeficiente de contracción

Según (Puga,2010), el coeficiente de contracción es la relación entre el área de la sección recta contraída de una corriente (chorro) y el área del orificio por el que fluye.

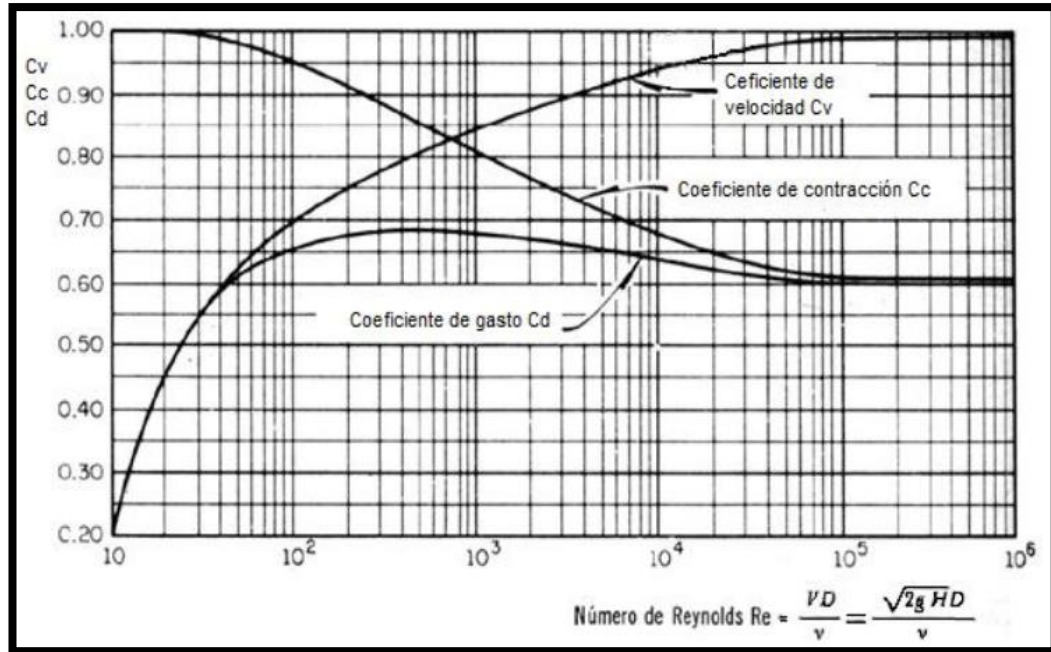
$$C_c = \frac{A_r}{A_o}$$

Por consiguiente, el coeficiente de descarga o gasto se determina:

$$C_d = C_c * C_v$$

Figura 1

Variación de coeficientes de velocidades, contracción y gasto en función de Reynolds en un orificio circular



Nota: La figura muestra las curvas características de los coeficientes de velocidad, contracción y descarga para orificios de pared delgada. Fuente: Sotelo (1997).

Cabe notar que con valores de Reynolds mayores $Re > 10^5$, los coeficientes de velocidad, descarga y contracción para orificios de pared delgada son constantes:

$$C_v = 0.99$$

$$C_c = 0.605$$

$$C_d = 0.60$$

Para orificios de pared gruesa se ha determinado por diferentes investigadores que con una relación de $e/D=3$, se tiene un coeficiente de:

$$C_d = C_v = 0.82$$

$$C_c = 1$$

4. Ejercicio Práctico

a) Elaboración del modelo en AutoCAD, con las medidas originales del diseño.

Pared delgada

Figura 2

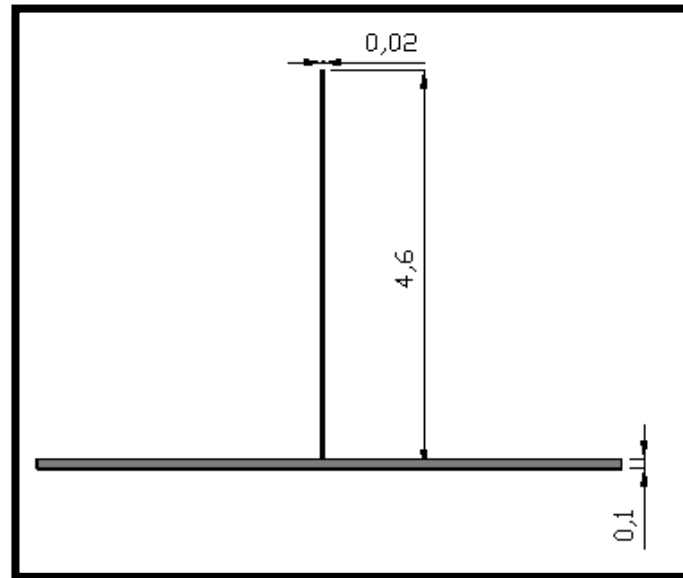
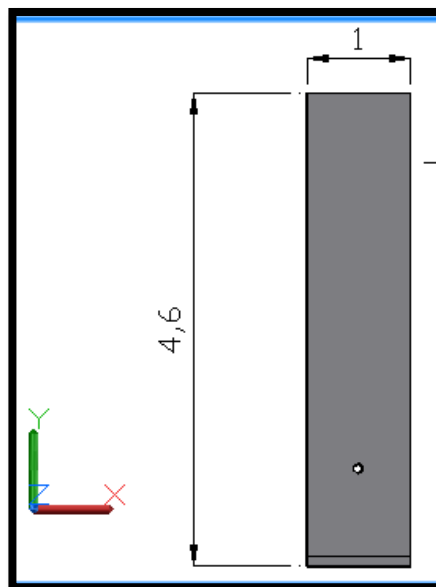


Figura 3



Pared gruesa

Figura 4

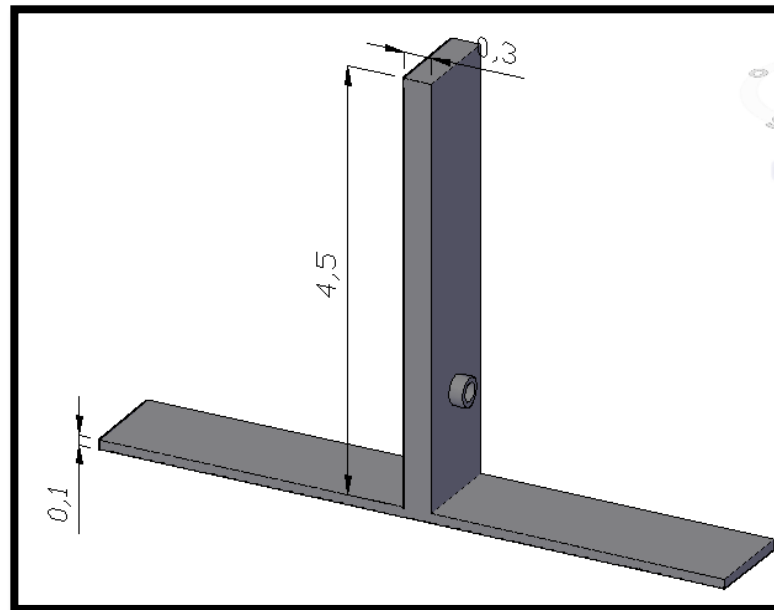
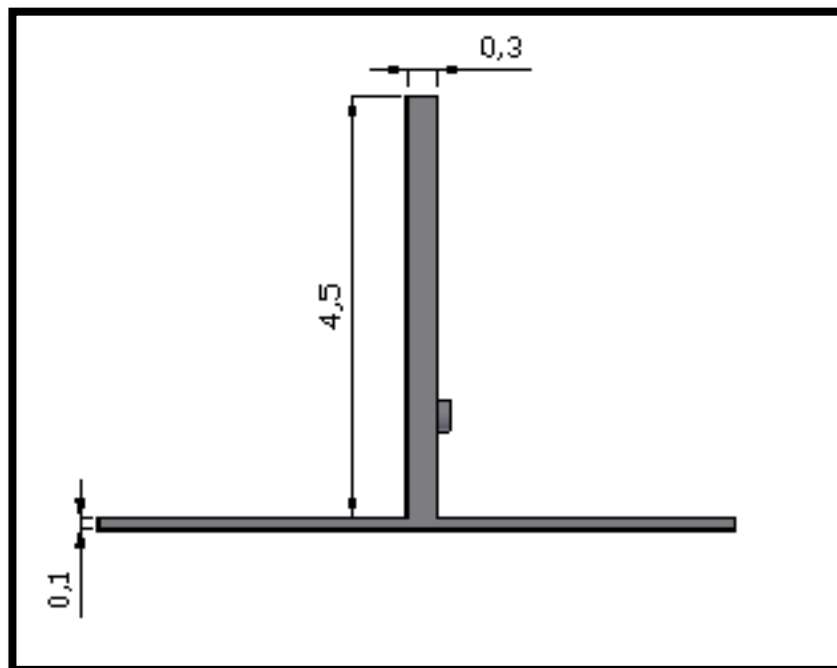


Figura 5



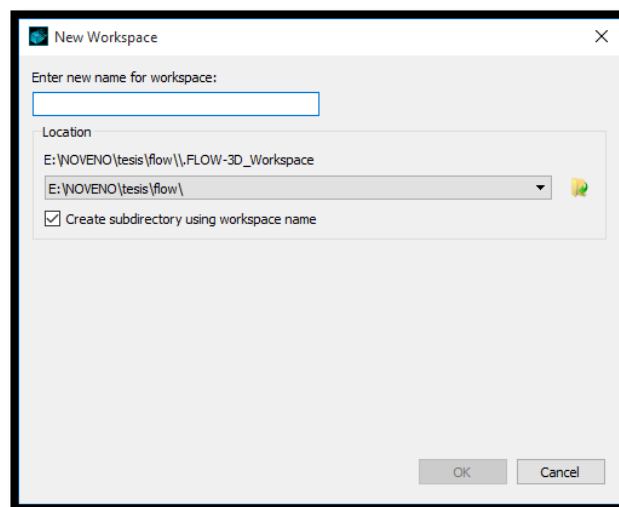
Datos:

ORIFICIO DE PARED DELGADA	
DATOS:	
$H := 2.5 \text{ m}$	Carga de agua
$d := 0.10 \text{ m}$	Diámetro del orificio
$A := \pi \cdot \frac{d^2}{4}$	Área del orificio
$\mu := 4.34 \cdot 10^{-7} \frac{\text{kgf}}{\text{m} \cdot \text{s}}$	Viscosidad dinámica
$\rho := 1000 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^3}$	Densidad del agua a 20°C

ORIFICIO DE PARED GRUESA	
DATOS:	
$H := 3.4 \text{ m}$	Carga de Agua
$d := 0.20 \text{ m}$	Diámetro del orificio
$A := \pi \cdot \frac{d^2}{4}$	Área del orificio
$e := 0.50 \text{ m}$	Espesor de la pared

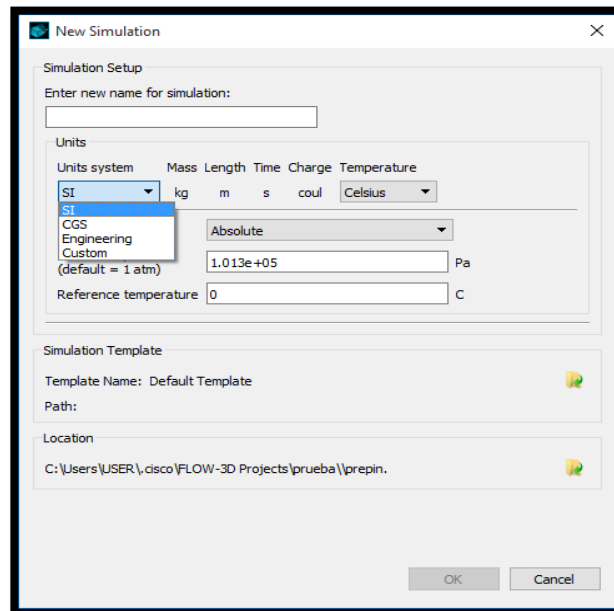
- b) Crear un nuevo espacio en el navegador, para este caso se creó uno con el nombre de orificios y se determinó el lugar donde se almacenará la respectiva documentación de esta simulación.

Figura 6



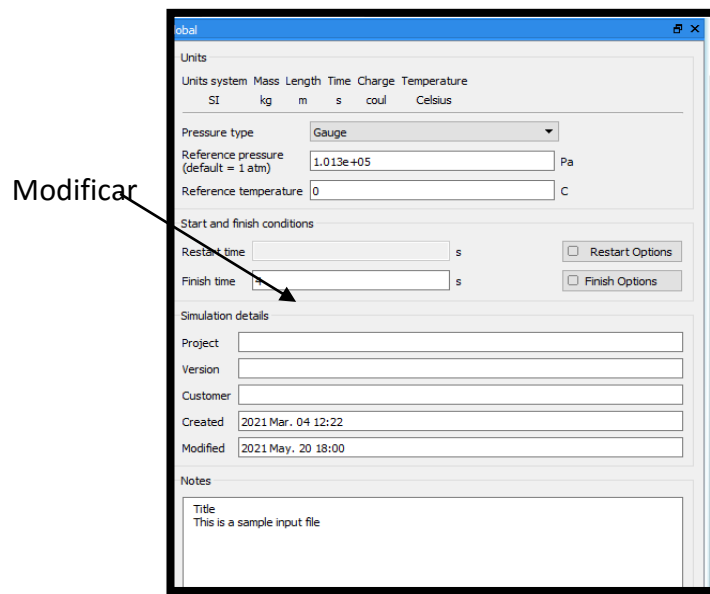
- c) Con el espacio de trabajo creado se procede a crear una nueva simulación con el sistema de unidades S.I y una presión absoluta. Si se requiere un mayor de talle de este proceso se puede revisar la configuración general.

Figura 7



- d) Posterior a crear y dar nombre a nuestro archivo de modelación, se ingresa a la pestaña de Model Setup en la cual el tiempo de duración de la simulación que se empleo es de 4s.

Figura 8

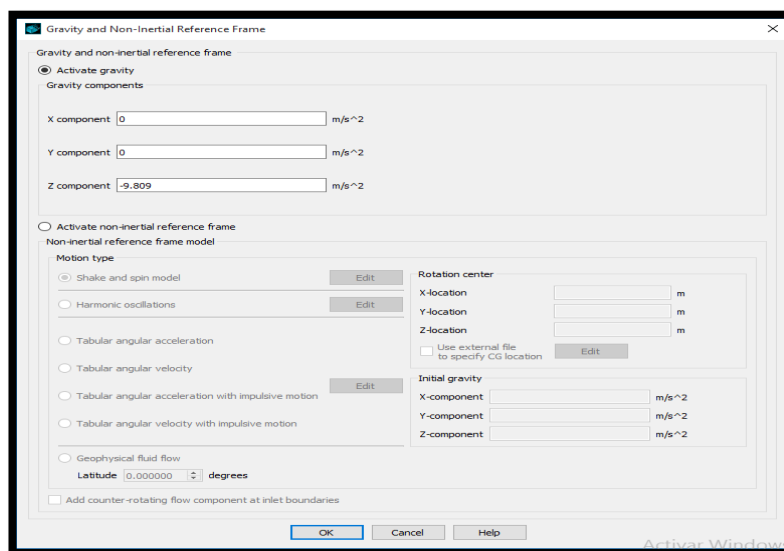


- e) Paso siguiente es dirigimos a la pestaña Physics donde se selecciona el número de fluidos de uno, con una superficie libre y que el fluido es incompresible.

Posterior a llenar estos datos seguimos con la selección de los modelos físicos activos, para este caso se usa el de gravedad, el de viscosidad y turbulencia. Si se presentan dudas sobre esta configuración se recomienda revisar el numeral con la configuración general.

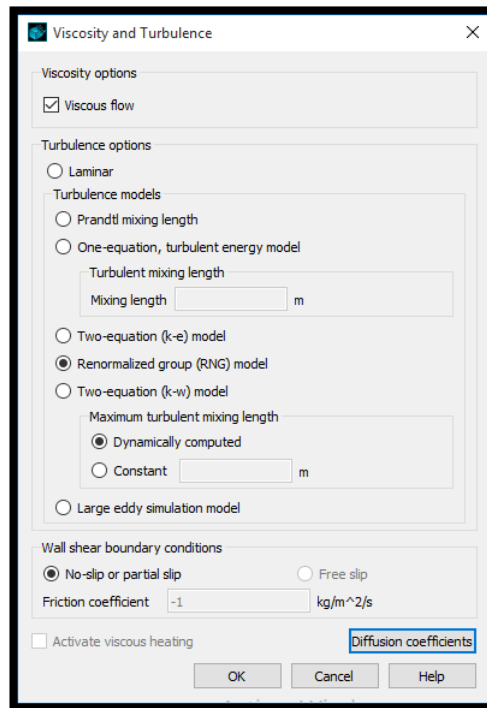
Gravedad:

Figura 9



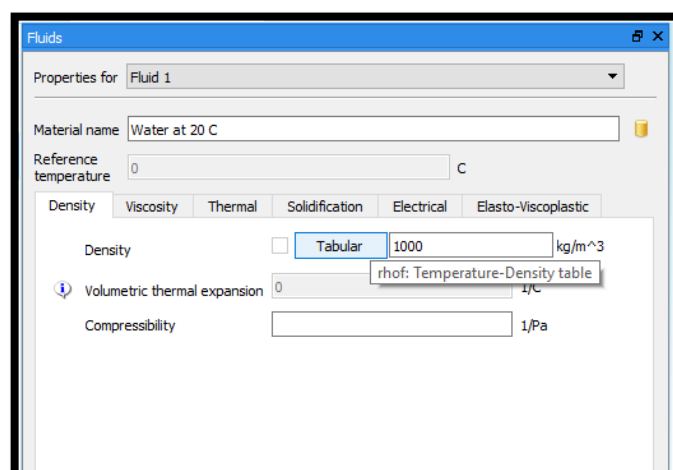
Viscosidad y turbulencia:

Figura 10



- f) Seguidamente abriremos la pestaña de Fluids, en la cual se selecciona el fluido a introducir en nuestra simulación, en este caso es agua a una temperatura de 20°C y no se realizará otra modificación.

Figura 11



- g) Ahora en la pestaña de geometría procederemos a cargar el modelo realizado en AutoCAD, para esto nos ubicaremos en el icono con las letras STL y lo

seleccionaremos, con esto se abrirá una nueva ventana y en esta se colocará el nombre con el cual se visualizará nuestro modelo.

Figura 12

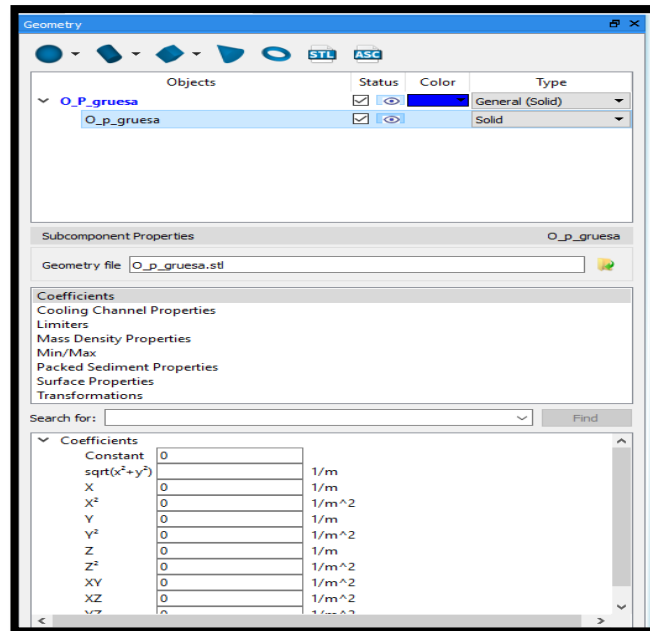
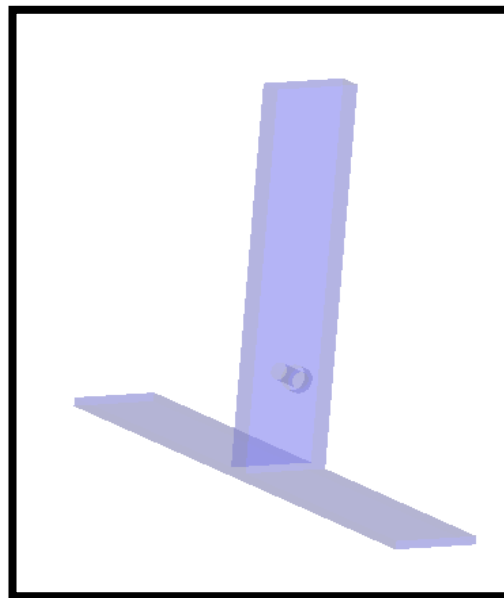


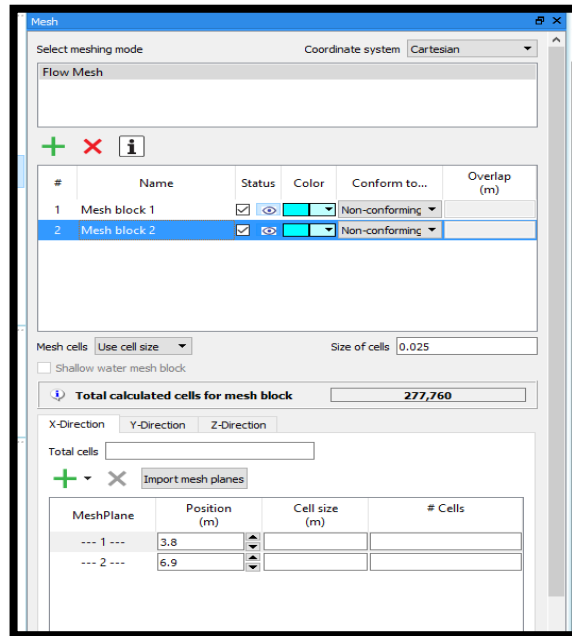
Figura 13



h) Con el modelo cargado, entramos a la pestaña siguiente **Mesh**, en la cual se procede a delimitar la zona de simulación con el mallado correspondiente. Para el ejemplo de pared delgada se usa un tamaño de celda de 2.0 cm y está dividido en

4 mallados diferentes, uno para la parte inicial donde se encuentra el volumen inicial, otra en la salida que analizará el caudal de salida y la longitud del chorro, las otras son para dar un mayor detalle a la pared y al orificio.

Figura 14



Para el orificio de pared gruesa se utiliza un mallado de 2.5cm y solo se utilizó dos mallados para el análisis uno ubicado al inicio y otro al final.

Figura 15

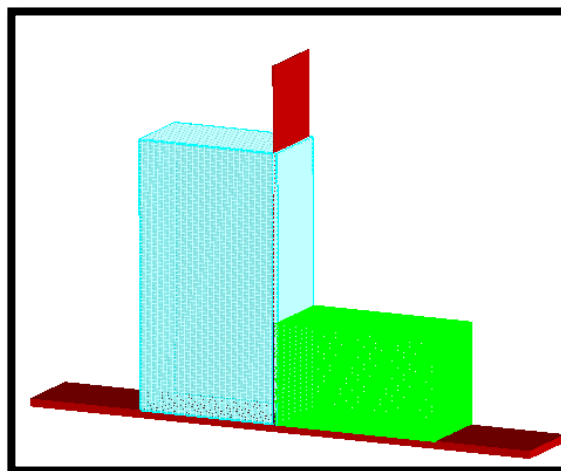
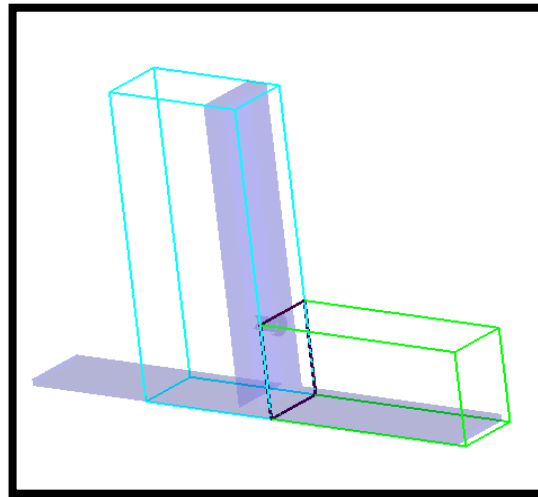


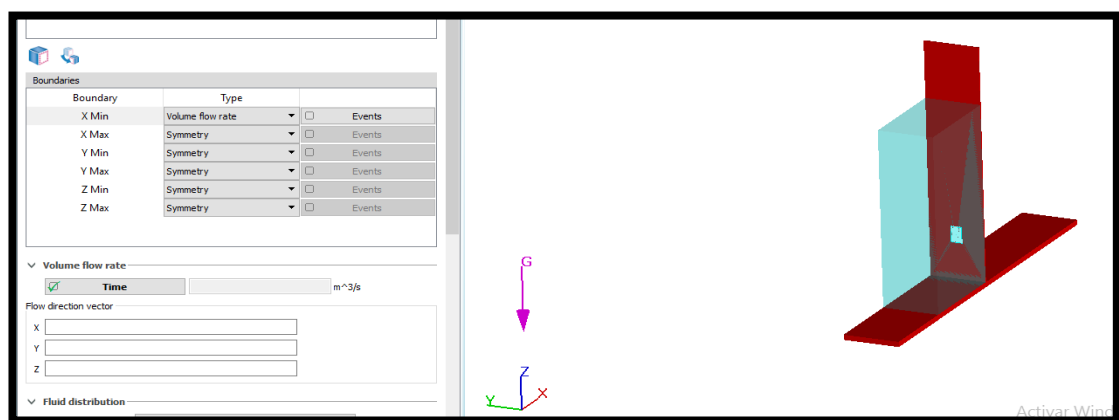
Figura 16



- i) Con el mallado establecido, pasamos a la pestaña siguiente Boundaries, en esta pestaña se establecerá las condiciones límites del mallado, para el orificio de pared gruesa se selecciona para Xmin la opción de Volumen Flow Rate el cual nos permite ingresar el caudal de entrada de la simulación en este caso de $0.21 \text{ m}^3/\text{s}$ y para Xmax usaremos la condición de Outflow, para el orificio de pared delgada se usa en Xmin Volumen Flow Rate con un valor de caudal de $0.033 \text{ m}^3/\text{s}$ y en Xmax la condición de Outflow la cual se usa para simular la salida del agua sin almacenamiento.

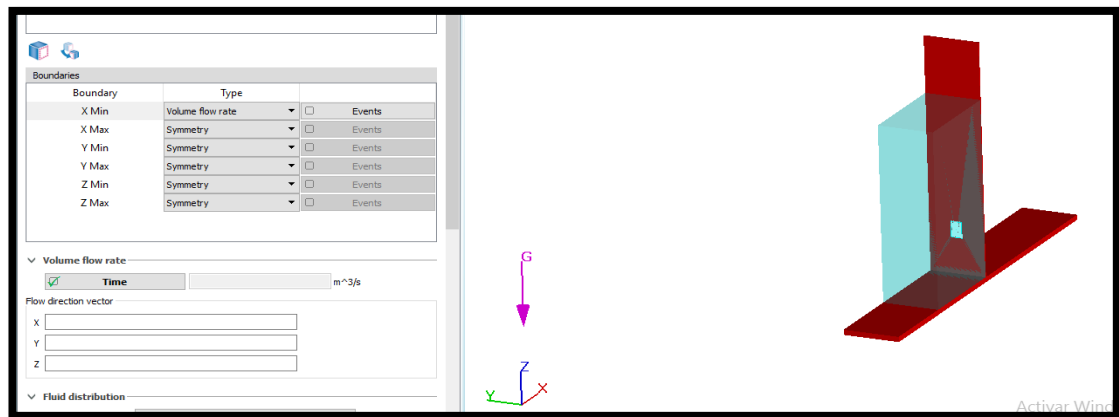
Pared delgada

Figura 17



Pared gruesa

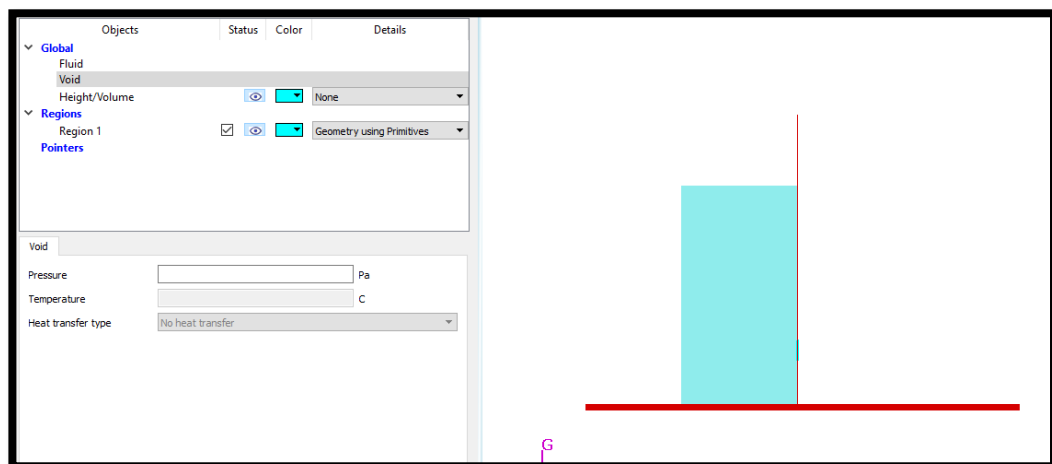
Figura 18



- j) En este punto la configuración de la simulación está en su etapa final, ingresaremos a la pestaña Initial, la cual nos permite recrear un área inicial de fluido que nos permite la reducción del tiempo llenado como de cálculo. Los límites de esta región son en X de 1.8 a 3.3, en Y de 0 a 1 y en Z de 0.1 a 4.6.

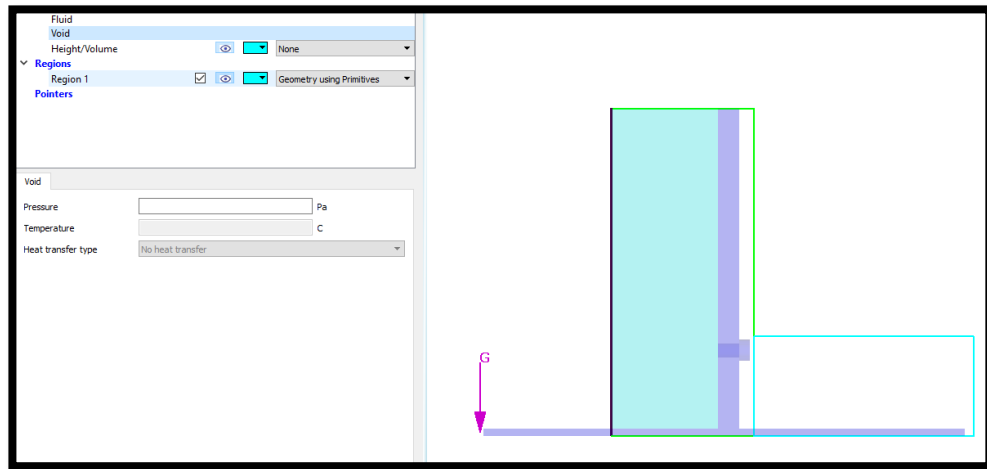
Pared delgada

Figura 19



Pared gruesa

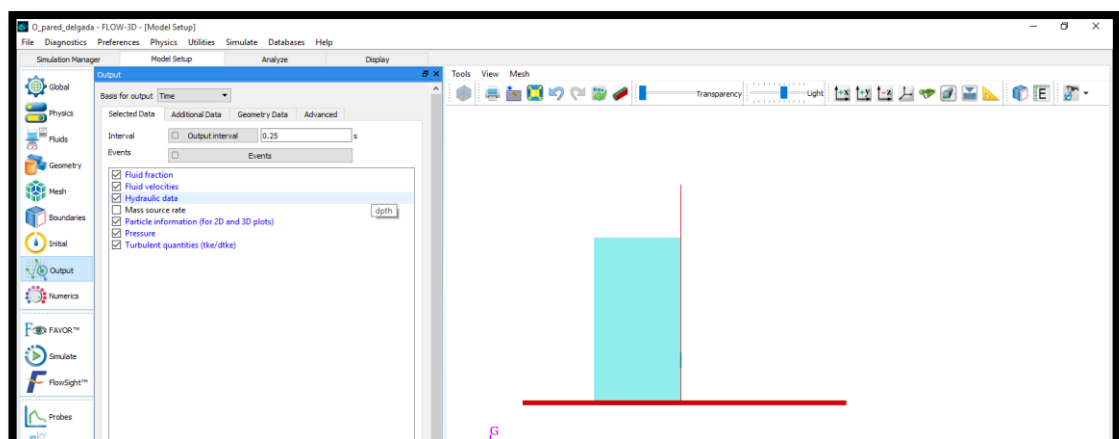
Figura 20



- k) Para finalizar la configuración de la simulación, entramos a la pestaña de Output, esta pestaña nos permite seleccionar que tipos de resultados se desea obtener en la simulación y determinar el intervalo de tiempo en el cual se presentaran estos resultados.

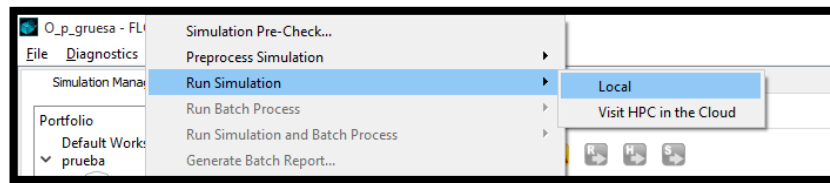
Para graficar la presión se marca la casilla de Pressure, para tener los valores de velocidad y los datos hidráulicos se marcan las casillas respectivas, además se establece un intervalo de tiempo de 0.25s.

Figura 21



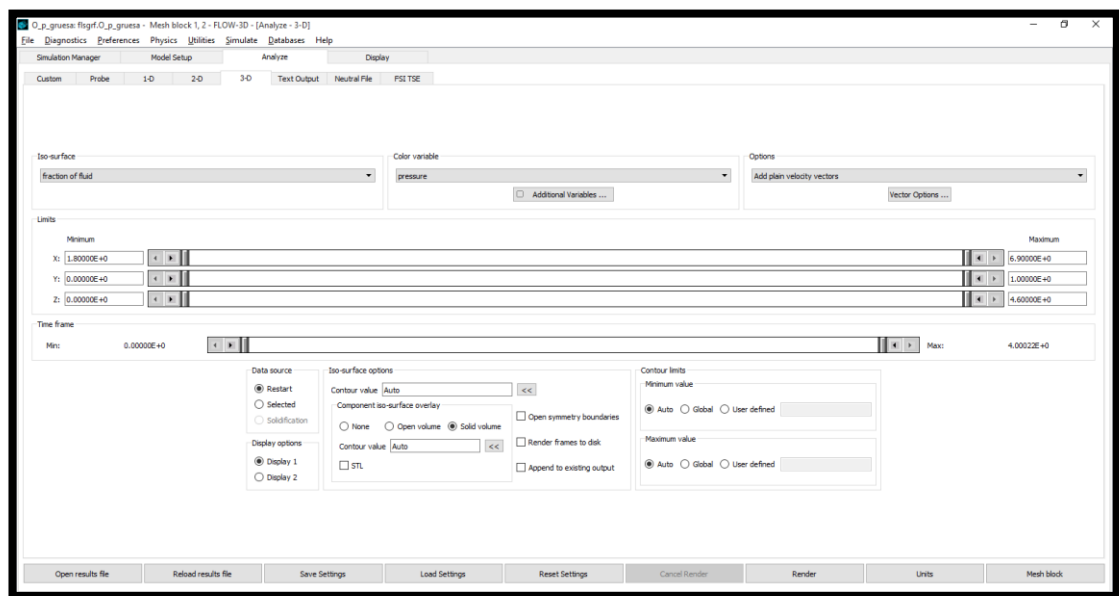
- l) Con la configuración terminada, se inicia la simulación.

Figura 22



m) El tiempo de la simulación está determinado por el tamaño de las celdas del mallado y de la cantidad de resultados seleccionados a presentar.

Figura 23



n) Con los datos seleccionados para la visualización nos dirigimos a la opción de Render, con esta opción el programa nos proporcionará la simulación con los datos. Sobre este proceso podemos revisar el numeral de presentación de resultados donde se explica de manera más detallada la forma de obtenerlos y presentarlo.

Figura 24

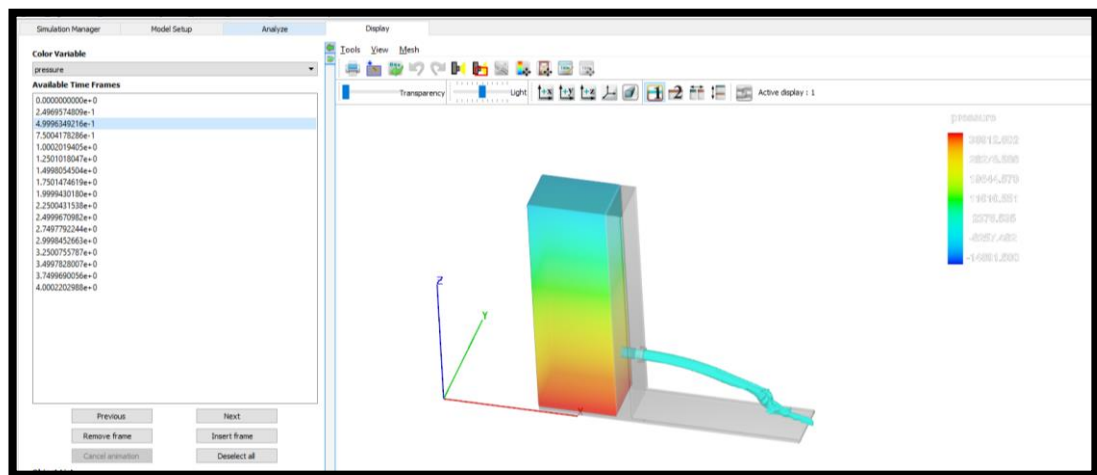
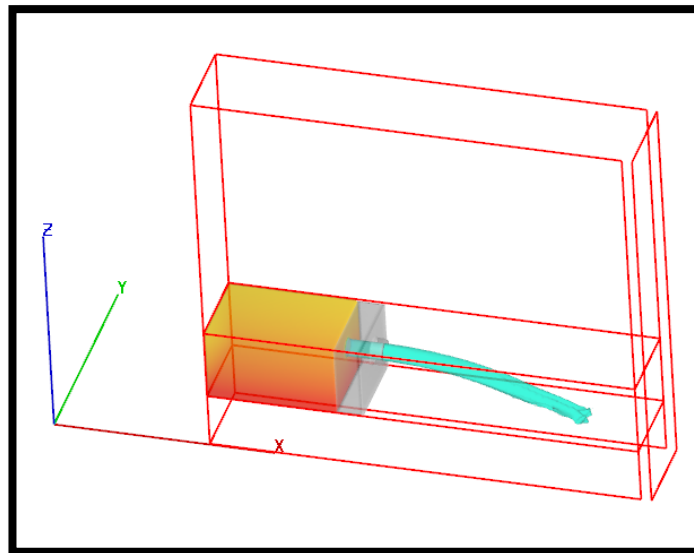


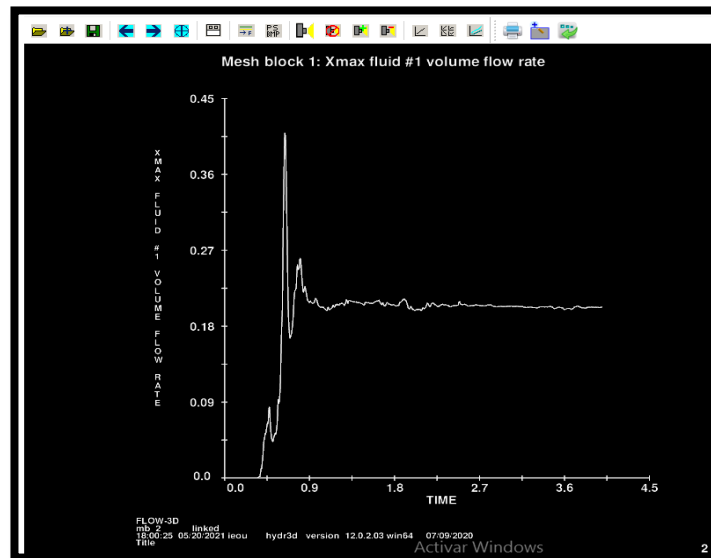
Figura 25



o) Presentación en gráfica y textual de los resultados.

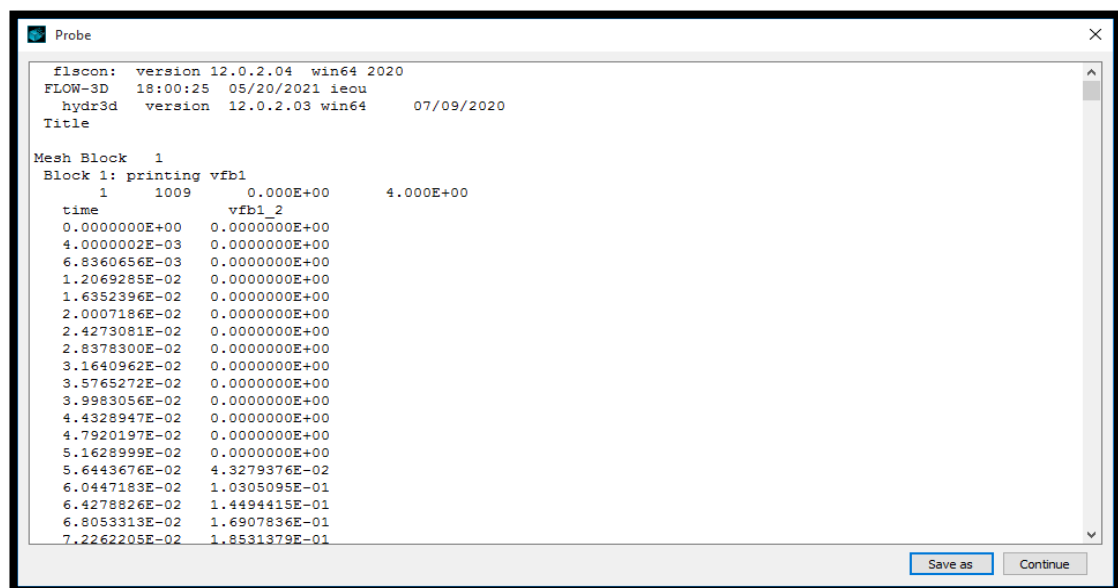
Resultado de gráfico:

Figura 26



Resultado de forma textual:

Figura 27



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Ejemplo de práctica N° 2

Hoja de resultados

ASIGNATURA: Mecánica de Fluidos e Hidráulica Aplicada

TEMA: Orificios de pared gruesa y delgada

NOMBRE:

FECHA:

GRUPO:

DATOS:

De entrada

Tabla 1

Orificio de Pared Gruesa

Carga de Agua (m)	H=	3.4
Diámetro del Orificio(m)	d=	0.2
Área(m²)	A=	0.031
Espesor(m)	e=	0.50
Coefficiente de descarga	Cd=	0.82
Resultados		Teórico
Caudal(m³/s)	Q=	0.21

Tabla 2

Orificio de Pared Delgada

Carga de Agua (m)	H=	2.5
Diámetro del Orificio(m)	d=	0.10
Área(m²)	A=	0.008
Coefficiente de velocidad	Cv=	0.99

Coefficiente de contracción	Cc=	0.605
Coefficiente de descarga	Cd=	0.60
Resultados		Teórico
Caudal(m³/s)	Q=	0.033

A partir del programa:

Tabla 3

Orificio de Pared Gruesa

Carga de Agua (m)	H=	3.4
Resultados		Laboratorio
Caudal(m³/s)	Q=	0.209
Coefficiente de descarga	Cd=	0.815
<i>Orificio de Pared Delgada</i>		
Carga de Agua (m)	H=	2.5
Resultados		Laboratorio
Caudal(m³/s)	Q=	0.03302
Coefficiente de descarga	Cd=	0.6

Tabla 4

Tabla de resumen

Orificio de pared gruesa			
		Teórico	Laboratorio
Carga de Agua (m)	H=	3.4	3.4
Caudal(m ³ /s)	Q=	0.21	0.209
Coefficiente de descarga	Cd=	0.82	0.815
Orificio de Pared Delgada			
Carga de Agua (m)	H=	2.5	2.5
Caudal(m ³ /s)	Q=	0.033	0.03302
Coefficiente de descarga	Cd=	0.6	0.6

1. CÁLCULOS

Orificio de pared gruesa

$H := 3.4 \text{ m}$	Carga de Agua
$d := 0.20 \text{ m}$	Diámetro del orificio
$A := \pi \cdot \frac{d^2}{4} = 0.031 \text{ m}^2$	Área del orificio
$e := 0.50 \text{ m}$	Espesor de la pared
<hr/>	
$cd := 0.82$	Coefficiente de descarga
+	
$Q := cd \cdot A \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H}$	
$Q = 0.21 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$	

Resultados de laboratorio:	
$Ql := 0.209 \frac{m^3}{s}$	Caudal de laboratorio
$c_{dl} := \frac{Ql}{A \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H}} = 0.815$	Coeficiente de descarga de laboratorio

Orificio de pared delgada

$H := 2.5 \text{ m}$	Carga de agua
$d := 0.10 \text{ m}$	Diametro del orificio
$A := \pi \cdot \frac{d^2}{4} = 0.008 \text{ m}^2$	Area del orificio
$\mu := 4.34 \cdot 10^{-7} \frac{kgf}{m \cdot s}$	Viscocidad dinámica
$\rho := 998.29 \frac{kgf}{m^3}$	Densidad del agua a 20°C
<hr/>	
$\lambda := \frac{\mu}{\rho} = (4.347 \cdot 10^{-10}) \frac{m^2}{s}$	Viscocidad cinemática del fluido
Para valores de Reynolds $> 10^5$, son constantes los valores de (Sotelo, pag 207):	
$C_v := 0.99$	Coeficiente de velocidad
$C_c := 0.605$	Coeficiente de contracción
$C_d := 0.60$	Coeficiente de descarga
$v := C_d \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H} = 4.201 \frac{m}{s}$	Cálculo de la velocidad

$Q := Cd \cdot A \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H}$	Cáculo del caudal
$Q = 0.033 \frac{m^3}{s}$	
$Re := \frac{v \cdot d}{\lambda} = 9.664 \cdot 10^8$	El valor del Reynolds es mayor a la condición se mantienen los coeficientes
Resultados de laboratorio:	
$Ql := 0.03302$	Caudal de laboratorio
$c_{dl} := \frac{Ql}{A \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H}} = 0.6 \frac{s}{m^3}$	Coefficiente de descarga de laboratorio

2. CONCLUSIONES

- El modelamiento de las estructuras hidráulicas no presentó ningún problema y los valores para las condiciones de borde demostraron ser los adecuados para apreciar el comportamiento de los orificios de pared delgada y gruesa.
- Los resultados obtenidos mediante la teoría hidráulica nos dieron valores de caudales para orificios de pared gruesa de $0.21 m^3/s$ y para orificios de pared delgada $0.033 m^3/s$, los valores obtenidos mediante la modelación no dieron valores sumamente parecidos, lo que nos lleva a concluir que el programa resuelve y representa de manera muy parecida el comportamiento de estas obras hidráulicas.

3. RECOMENDACIONES

- Si se requiere un mayor detalle en los modelos es recomendable reducir el tamaño del mallado, pero de la misma forma el tiempo de cálculo se verá aumentado notablemente.
- Se puede configurar las condiciones de borde del mallado para observar diferentes comportamientos de las estructuras hidráulicas.

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Práctica N° 2

Hoja de resultados

ASIGNATURA: Mecánica de Fluidos e Hidráulica Aplicada

TEMA: Orificios de pared gruesa y delgada

NOMBRE:

FECHA:

GRUPO:

1. ACTIVIDADES:

- 1.1. Basado en la geometría presentada modificar la carga de agua $H=2.5\text{m}$ para el orificio de pared gruesa y $H=1.5\text{m}$ para el orificio de pared delgada. Obtener los valores de caudal y coeficientes de descarga usando la teoría de la hidráulica básica y el programa Flow 3D.

2. DATOS:

De entrada

Tabla 1

Orificio de Pared Gruesa

Carga de Agua (m)	H=	
Diámetro del Orificio(m)	d=	
Área(m²)	A=	
Espesor(m)	e=	
Coefficiente de descarga	Cd=	
Resultados		Teórico
Caudal(m³/s)	Q=	

Tabla 2

Orificio de Pared Delgada

Carga de Agua (m)	H=	
Diámetro del Orificio(m)	d=	
Área(m²)	A=	
Coefficiente de velocidad	Cv=	
Coefficiente de contracción	Cc=	
Coefficiente de descarga	Cd=	
Resultados		Teórico
Caudal(m³/s)	Q=	

A partir del programa:

Tabla 3

Orificio de Pared Gruesa

Carga de Agua (m)	H=	
Resultados		Laboratorio
Caudal(m³/s)	Q=	
Coefficiente de descarga	Cd=	
Orificio de Pared Delgada		
Carga de Agua (m)	H=	
Resultados		Laboratorio
Caudal(m³/s)	Q=	
Coefficiente de descarga	Cd=	

Tabla 4

Tabla de resumen

Orificio de pared gruesa			
		Teórico	Laboratorio
Carga de Agua (m)	H=		
Caudal(m³/s)	Q=		
Coeficiente de descarga	Cd=		
Orificio de Pared Delgada			
Carga de Agua (m)	H=		
Caudal(m³/s)	Q=		
Coeficiente de descarga	Cd=		

3. CÁLCULOS

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES:

RECOMENDACIONES:

PRÁCTICA N°3

TEMA: VERTEDEROS DE PARED ANCHA, DELGADA Y TIPO WES

1. Objetivos:

- 1.1.** Simular el comportamiento de un vertedero pared delgada, ancha y tipo WES usando el Software Flow 3D.
- 1.2.** Comparar los datos obtenidos mediante el uso del programa Flow 3D y los resultados obtenidos aplicando la teoría presentada.

2. Método

- 2.1.** Usando el AutoCAD se realizará el diseño 3D del vertedero de pared ancha, el vertedero de pared delgada y vertedero tipo WES.
- 2.2.** Usando el diseño en 3D de los elementos antes mencionados, se cargarán estos archivos al Software Flow 3D para su análisis y posterior simulación.
- 2.3.** Realizar la comprobación de los resultados obtenidos con el Software y con la base teórica presentada.

3. Marco Teórico

Los vertederos son elementos de desagüe que, a diferencia de las tuberías y los orificios de pared delgada tienen su entrada superficial es decir en la superficie libre del líquido, los vertederos son estructuras conocidas como diques o paredes las cuales interceptan las corrientes de un líquido y tienen como objetivos elevar el nivel de agua o mantener dicho nivel evacuando el exceso de líquido (Joel Rodríguez Falcón, 2012, p. 15).

3.1.1.1. Ecuación del vertedero de pared delgada

$$Q = \frac{2}{3} \mu \sqrt{2g} b h^{\frac{3}{2}}$$

Donde:

Q = Caudal que pasa por el conducto

μ = Coeficiente de gasto

b = Ancho del vertedero

h = Carga sobre el vertedero

g = Gravedad

Para determinar el comportamiento de un vertedero y saber si actuará como un vertedero de pared ancha o un vertedero de pared delgada se usa las siguientes relaciones según Bazin:

$$\text{Si } \frac{e}{h} < 0.67$$

Si chorro se separa de la cresta, el comportamiento es idéntico al de un vertedero de pared delgada. (Sotelo,2000)

El coeficiente de descarga μ , incluye las pérdidas de energía y el efecto de contracción de la lámina vertiente. Existen varias formulaciones para el cálculo de este coeficiente, pero la formulación a utilizar corresponde a Rehbock (1929), el cual vale solo para vertederos sin contracciones laterales, el cual es muy preciso y sencillo de utilizar. (Sotelo,2000)

Formula:

$$\mu = \left[0.6035 + 0.0813 \left(\frac{h + 0.0011}{w} \right) \right] \left[1 + \frac{0.0011}{h} \right]^{\frac{3}{2}}$$

Donde:

b = Ancho del vertedero

w = Altura del vertedero

Esta formulación tiene ciertas limitantes para su uso, como solo las siguientes:

$$0.01m \leq h \leq 0.8m$$

$$b \geq 0.3m$$

$$w \geq 0.06m$$

$$\frac{h}{w} \leq 1$$

3.1.2. Vertedero de pared ancha

Son empleados en su mayoría para el control de los niveles de los ríos y canales, son estructuras robustas que no son dañadas fácilmente y manejan con cierta facilidad caudales grandes, estos pueden ser usados como elementos estructurales que midan el caudal (José et al., 2012).

$$\text{si } \frac{e}{h} > 0.67$$

Para este caso el comportamiento de la lámina de la vertiente es la de adherirse a la cresta del vertedero y se presentan diferentes comportamientos dependiendo de la altura del vertedero (w).

3.1.2.1. Ecuación del caudal del vertedero de pared ancha

$$Q = C\epsilon b h^{\frac{3}{2}}$$

Donde:

Q = Caudal que pasa por el conducto

C = Coeficiente de descarga dimensional del vertedero de pared ancha

h = Carga sobre el vertedero

ϵ = Coeficiente de reducción por sumergencia que depende de la relación e/h

Para el coeficiente C , de descarga la siguiente ecuación que es adecuada para un vertedero de pared delgada, en condiciones de descarga libre y que toma en cuenta la altura de la cresta, se puede usar para vertederos de pared gruesa con las mismas

condiciones, para el coeficiente de reducción que depende de la relación e/h , se usa la presente ecuación.

$$C = \frac{2}{3} \sqrt{2g\mu}$$
$$\varepsilon = 0.7 + \frac{0.185}{e/h}$$

Vertedero tipo WES

Es un vertedero que se utiliza para aliviar caudales crecientes y que permite la máxima descarga del fluido en relación con otras formas de vertederos que posean la misma altura. El vertedero perfil tipo WES (Waterways Experiment Station) consiste en una cresta de control de pared delgada, con un ancho de canal igual al ancho de la cresta, este perfil garantiza un leve cambio en el coeficiente de descarga.

El perfil tipo WES “constituye una sección de control cuya descarga puede ser libre o controlada”, en la cual no se requieren de elementos adicionales para regularla, una de las ventajas que posee este tipo de vertederos es la variedad de compuertas que pueden usarse sobre su cresta.

3.1.2.2. Ecuación general del caudal de un vertedero tipo WES

$$Q = CBH^{1.5}$$

Donde:

Q = Caudal que pasa por el conducto

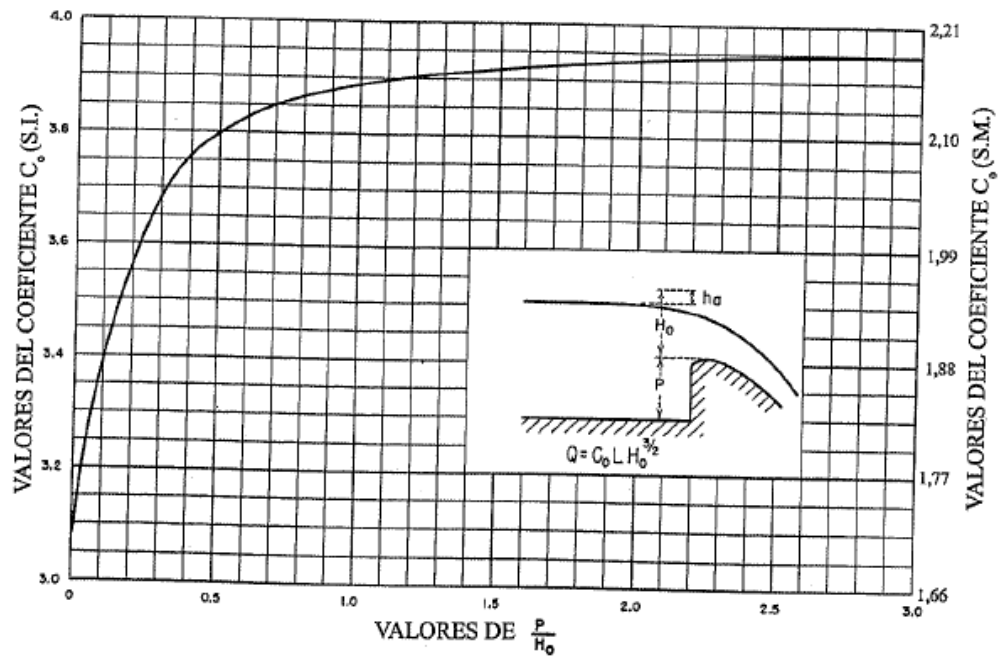
B = Ancho del vertedero

H = Altura de energía total sobre la cresta

C = Coeficiente de descarga

Figura 1

Coefficiente de descarga de un vertedero con pared vertical aguas arriba



Nota: En base a la figura se puede determinar el valor de los coeficientes de descarga en unidades S.I. y S.M. Fuente: Bureau of Reclamation (2007).

4. Ejercicio Práctico

- a) Crear los diseños de las respectivas estructuras hidráulicas correspondientes a un vertedero de pared ancha, vertedero de pared delgada y un vertedero tipo WES en la plataforma AutoCAD.

Vertedero de Pared Delgada:

Figura 2

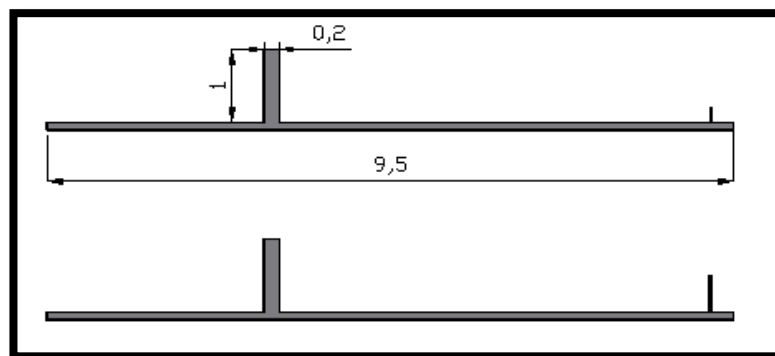
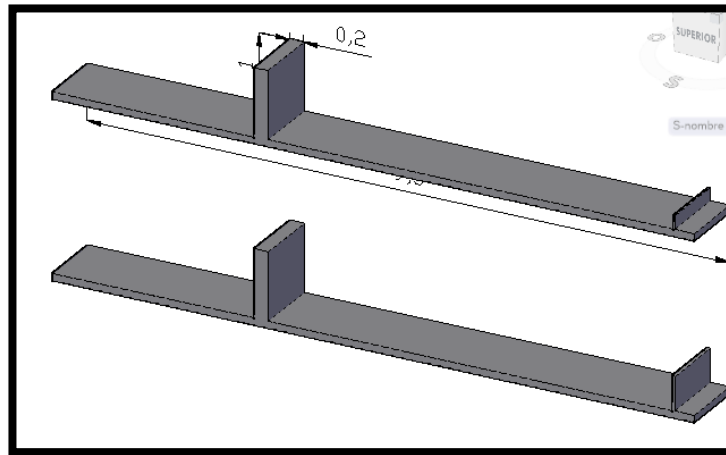


Figura 3



Datos:

$H = 0.80\text{m}$ Carga de agua sobre el vertedero

$b = 1.00\text{m}$ Ancho del vertedero

$c = 1.00\text{m}$ Altura del vertedero

$\gamma = 9.81 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$ Peso específico del agua

$e = 2.00\text{m}$ Espesor del vertedero

Vertedero de Pared Ancha:

Figura 4

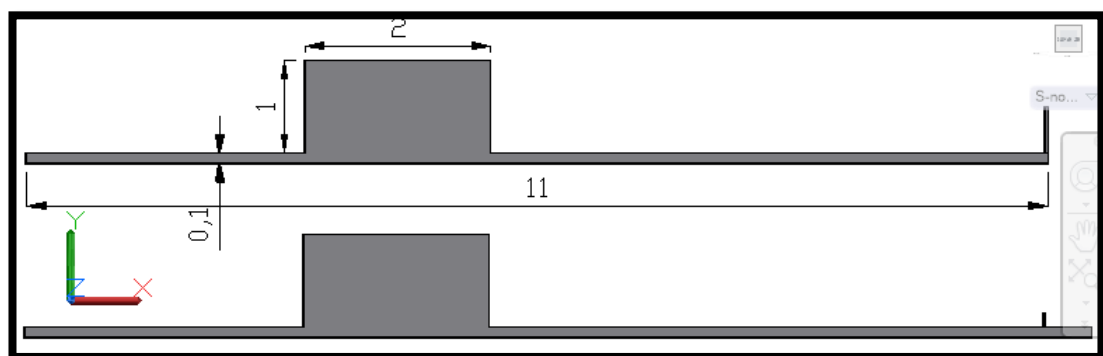
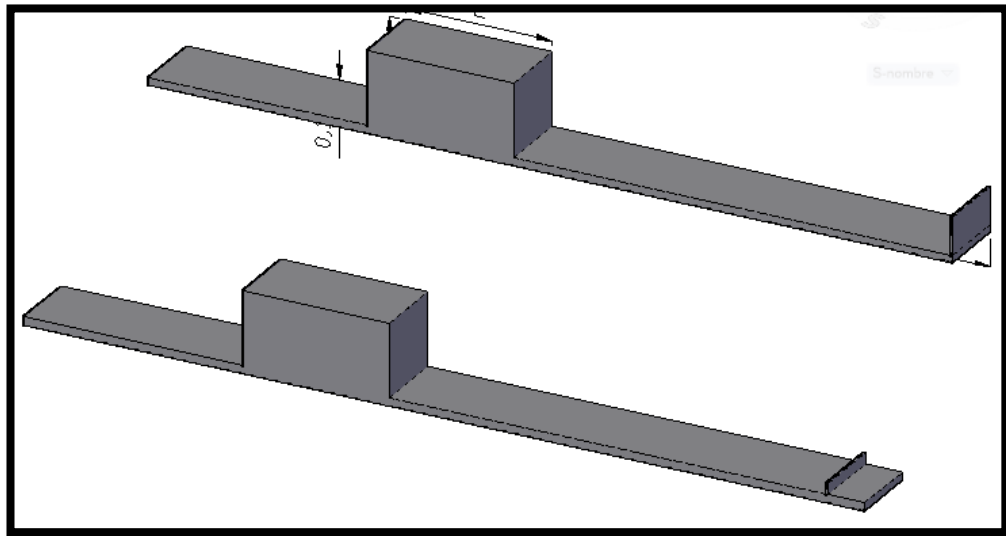


Figura 5



Datos:

$H = 0.80\text{m}$ Carga de agua sobre el vertedero

$b = 1.00\text{m}$ Ancho del vertedero

$c = 1.00\text{m}$ Altura del vertedero

Vertedero Tipo WES:

Figura 6

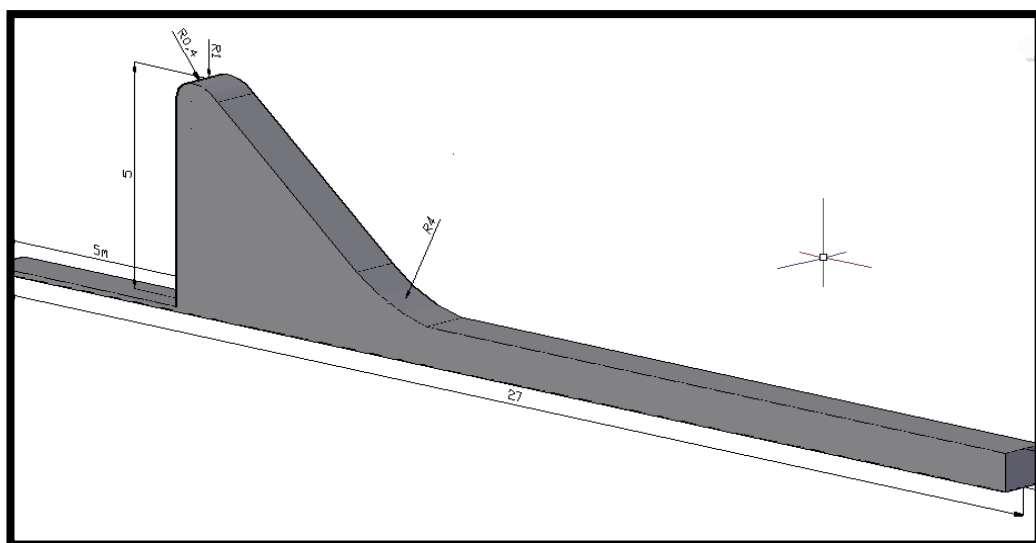
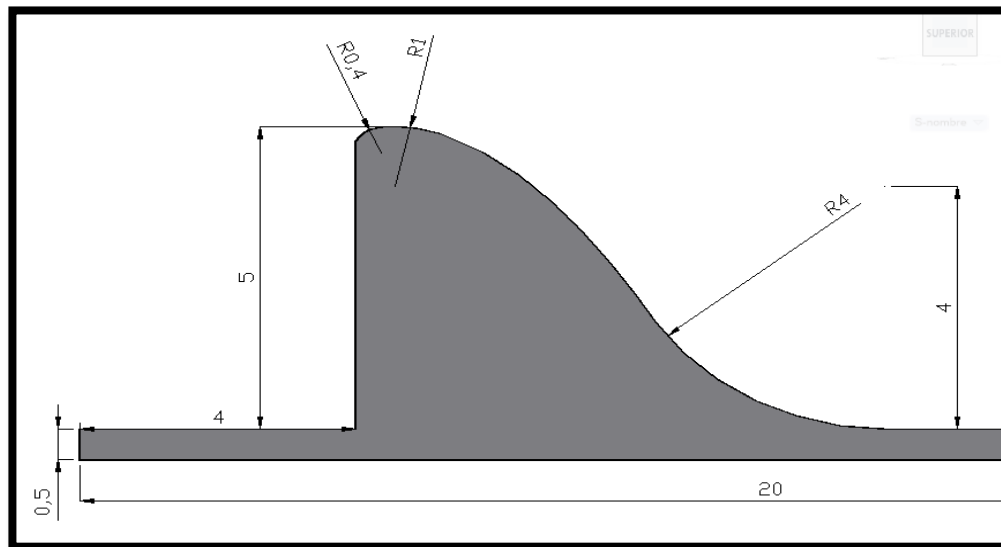


Figura 7



Datos:

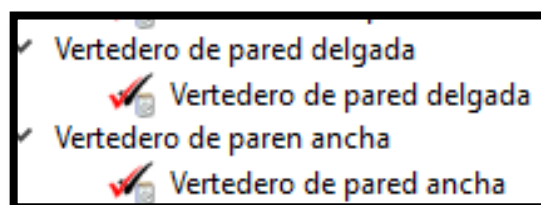
$H = 2.00\text{m}$ Carga de agua sobre el vertedero

$b = 1.00\text{m}$ Ancho del vertedero

$c = 5.00\text{m}$ Altura del vertedero

- b) Se crea un Workspace destinado a los vertederos de pared ancha, pared delgada y tipo WES, si presentamos dudas sobre este proceso podemos revisar la práctica 1 configuración general.

Figura 8



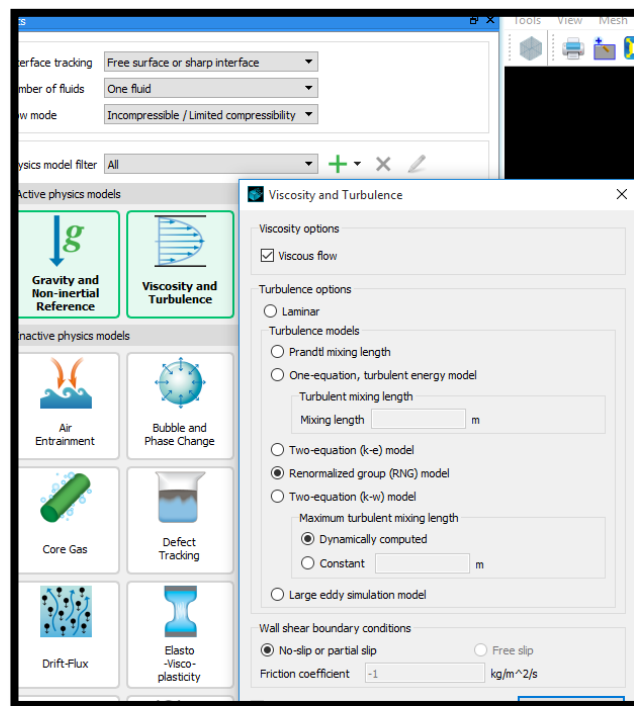
- c) Con el espacio de trabajo creado se pueden crear las diferentes simulaciones de las estructuras hidráulicas antes mencionadas.

- d) Lo siguiente, es definir los parámetros de tiempo y de presión en la pestaña general

Model Setup y en la sub pestaña **Global**.

- Para el vertedero de pared delgada con una descarga libre se usa un tiempo de simulación de 30s, para la condición de descarga sumergida se usa un tiempo de 35s.
 - El tiempo de simulación para el vertedero de pared gruesa con descarga sumergida es de 60s y para la condición con descarga libre el tiempo es de 30s.
 - Con vertedero tipo WES se usa un tiempo de simulación de 30s.
- e) En el paso siguiente, es necesario realizar la configuración de las características físicas que va a tener nuestra simulación, como son la gravedad, viscosidad y turbulencia. Para estas estructuras hidráulicas se usa la configuración explicada en la práctica 1 (configuración general).

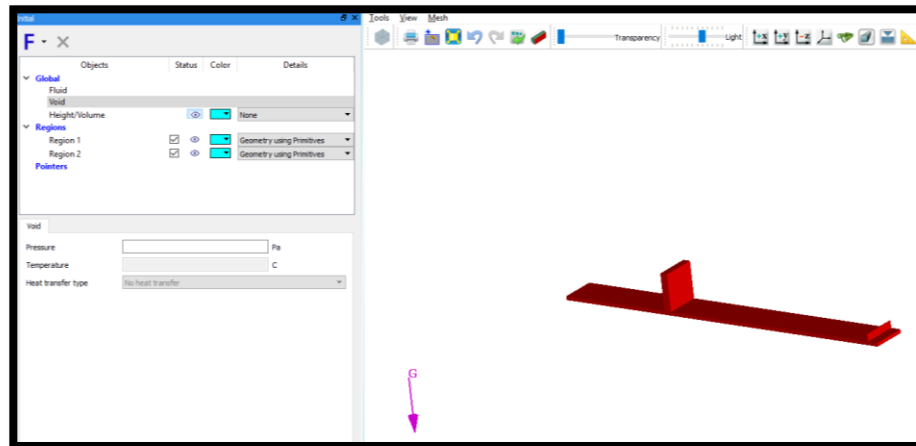
Figura 9



- f) En la pestaña de Fluids seleccionamos el agua a 20°C para todos los vertederos.
- g) Para la siguiente pestaña Geometry, se subirán los archivos correspondientes a la geometría de las estructuras hidráulicas mencionadas, en su respectivo espacio de trabajo.

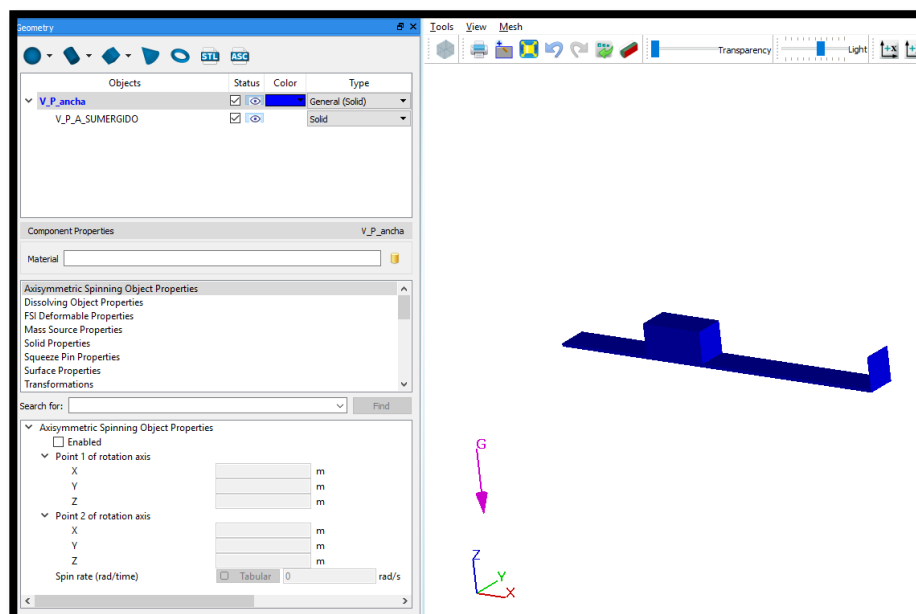
Vertedero de pared delgada

Figura 10



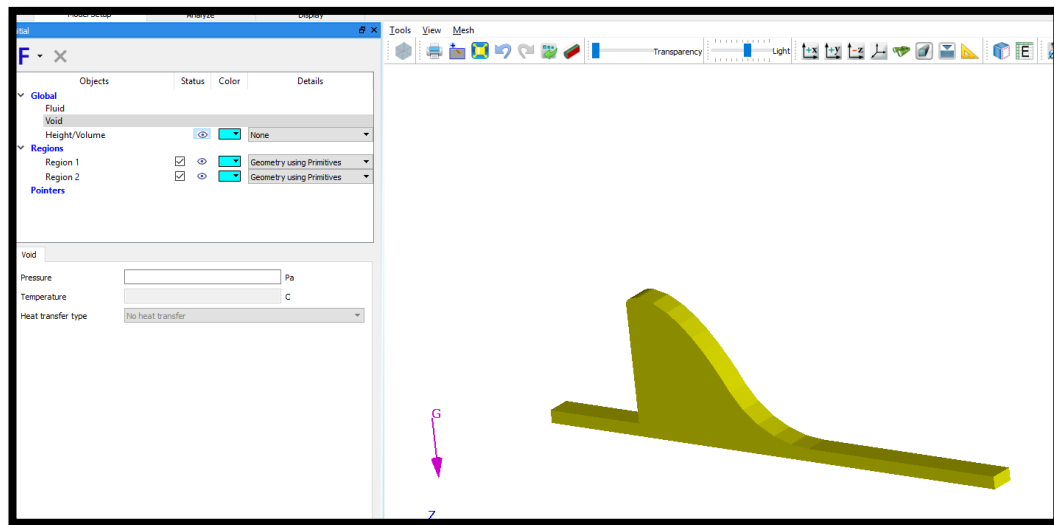
Vertedero de ancha

Figura 11



Vertedero tipo WES

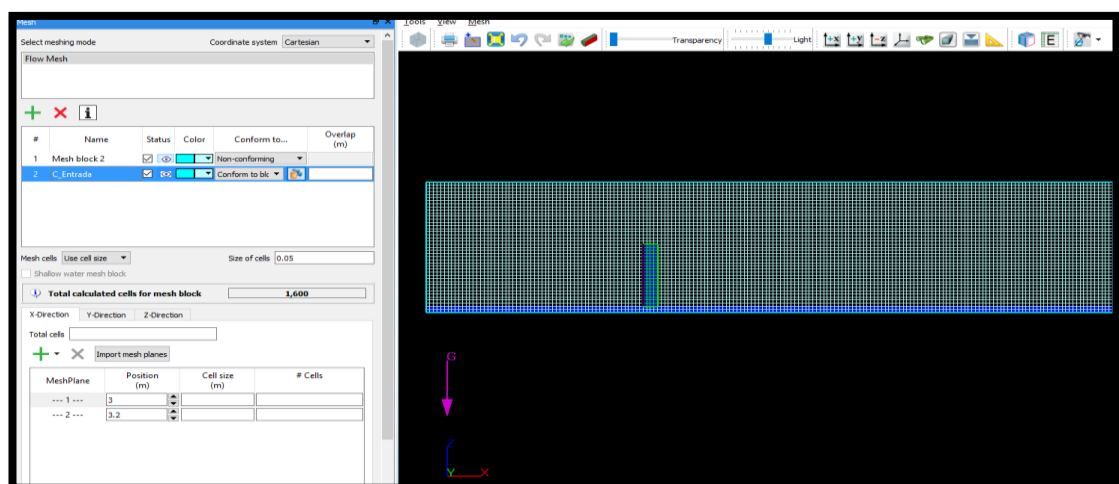
Figura 12



- h) Cuando la geometría este cargada en las simulaciones, procedemos a crear el mallado para cada una de las obras hidráulicas previamente mencionadas, los límites del mallado están definidos por el tamaño de las estructuras.

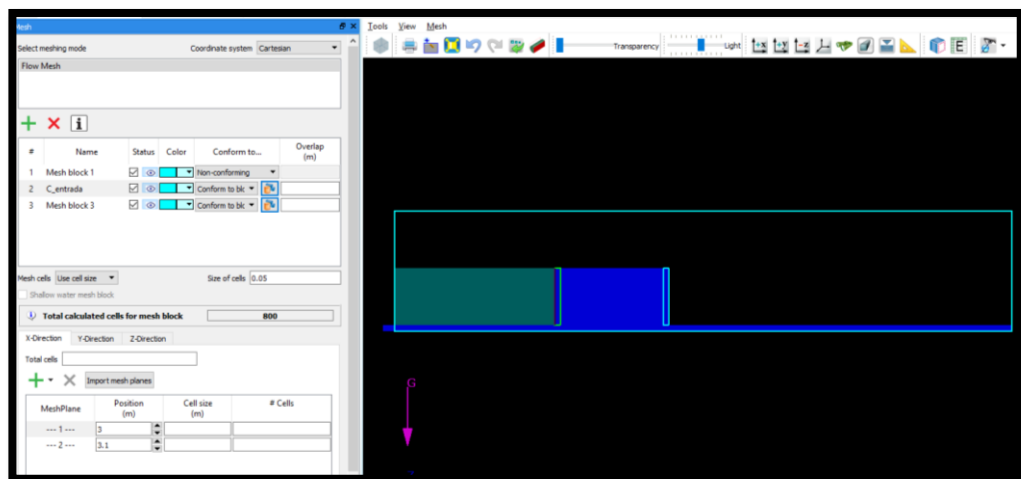
Para el vertedero de pared delgada se empleó un mallado principal de 0.05m usado para el flujo del agua y con la condición de Non-conforming, para el mallado secundario se usó un tamaño de celda de 0.05m para la estructura del vertedero con la condición de Conformed to blocked volumen para mayor detalle.

Figura 13



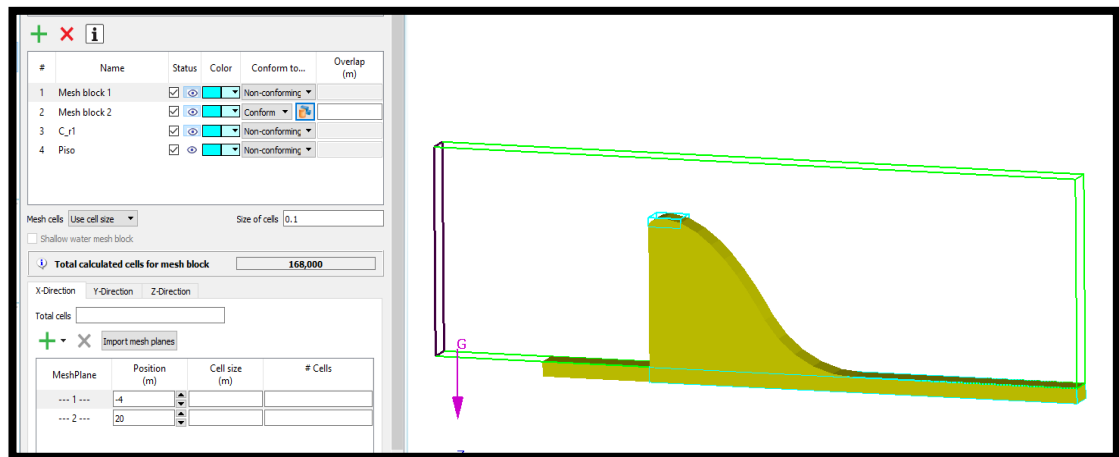
Para el vertedero de pared gruesa se empleó un mallado de 0.05m para el flujo del agua con la condición de Non-conforming y para el mallado secundario correspondiente a la estructura del vertedero se empleó un tamaño de celda de 0.05m con la condición de Conformed to blocked volumen para mayor detalle, este mallado está ubicado en las caras de entrada y salida del vertedero.

Figura 14



Para el vertedero tipo Creager se empleó un mallado principal de 0.1m para el flujo del agua, con una condición de Non-conforming y para el mallado secundario un tamaño de celda de 0.05m con la condición Non-conforming volumen, que es para un mayor detalle en la cresta, otro mallado es usado para el piso con un tamaño de celda de 0.1m con la condición de Non-conforming volumen.

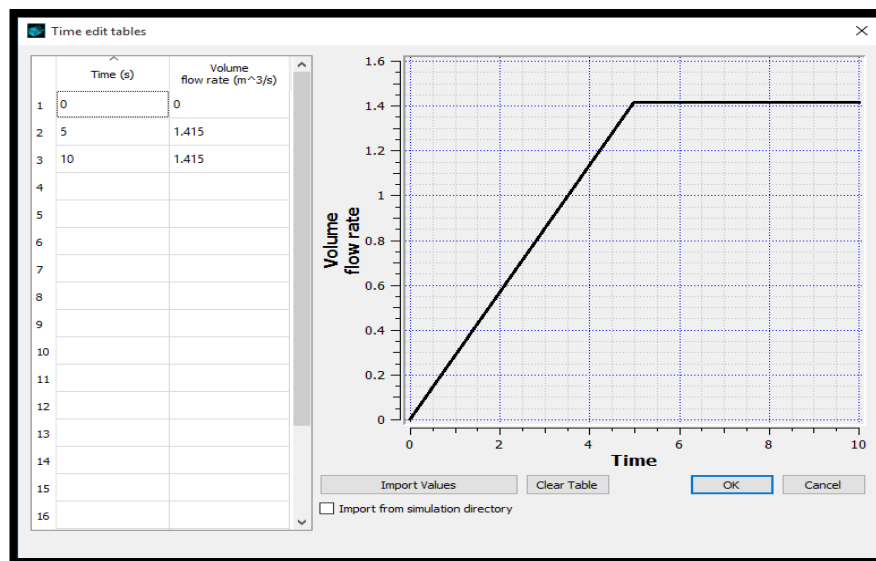
Figura 15



- i) Con el mallado establecido cubriendo toda la geometría, se establecen las condiciones de borde, para el caso de vertedero de pared delgada, pared gruesa y tipo Creager se usa en Xmin la condición de Volume Flow Rate con los valores de caudal de $1.45 \text{ m}^3/\text{s}$, $1.096 \text{ m}^3/\text{s}$ y $6.22 \text{ m}^3/\text{s}$ respectivamente, para los valor de Xmax en todas las estructuras se usa la condición de Out Flow debido a que en la salida las estructuras se dibujó una pared que tiene una altura de 0.15 para el caso de descarga libre y de 1m para una descarga sumergida.

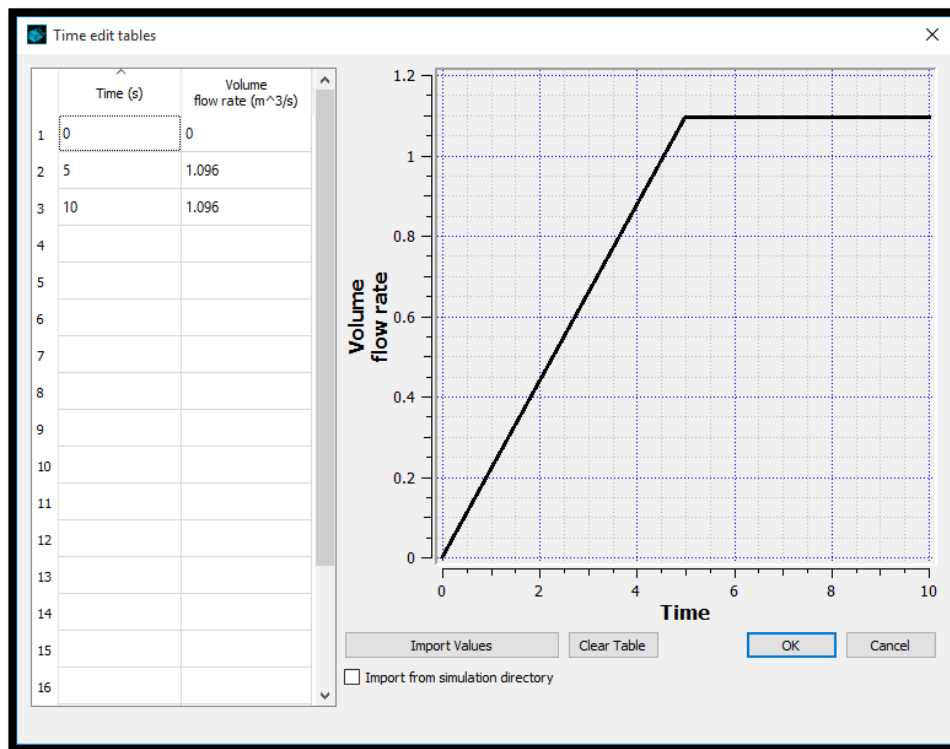
Vertedero de pared delgada

Figura 16



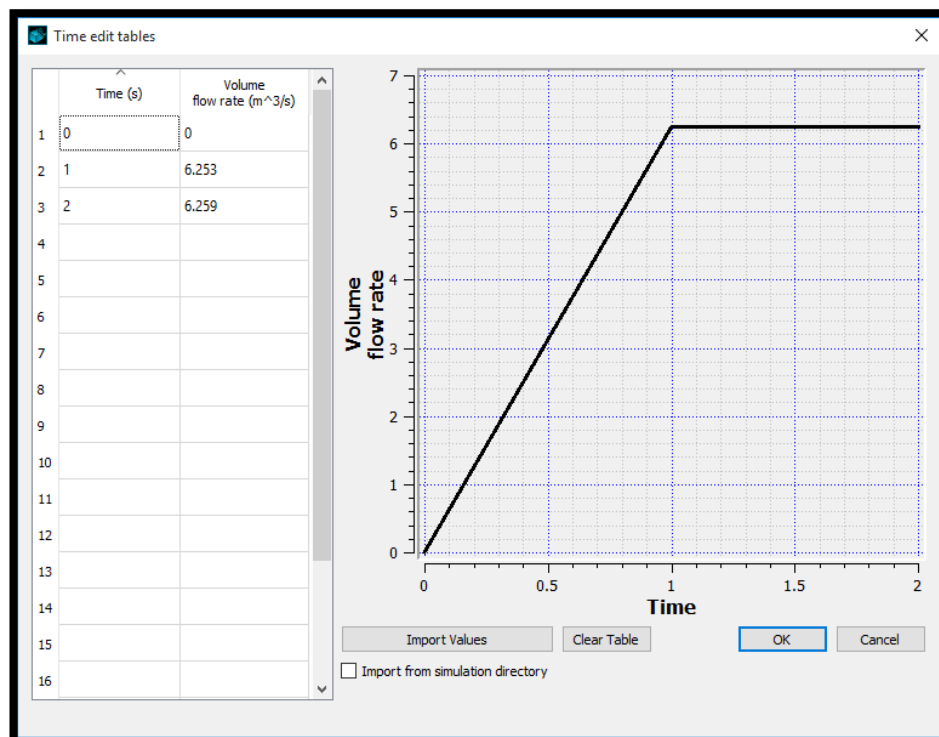
Vertedero de pared gruesa

Figura 17



Vertedero tipo WES

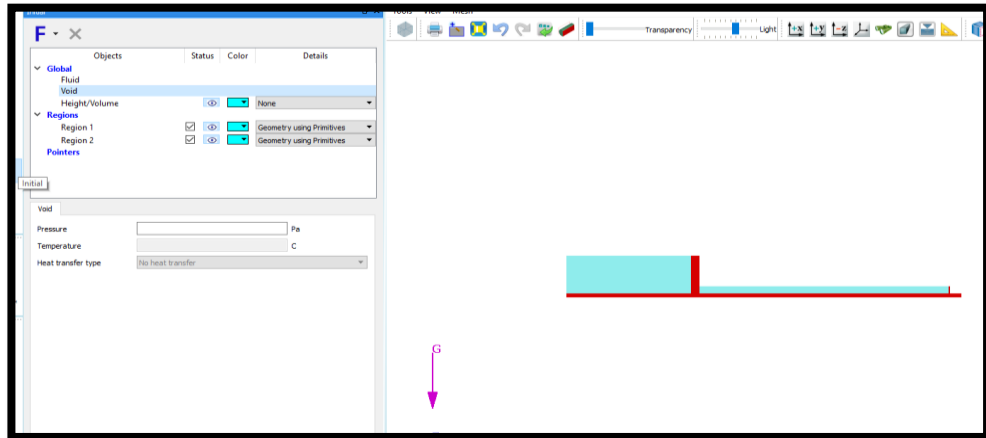
Figura 18



- j) Par reducir el tiempo de cálculo y mejorar la apreciación de los resultados se crean regiones con las cuales iniciara la simulación.

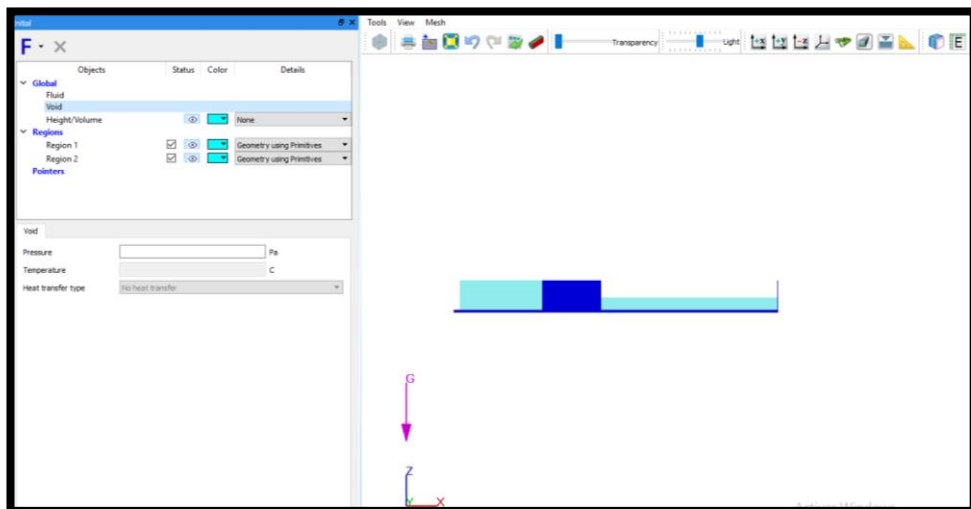
Vertedero de pared delgada

Figura 19



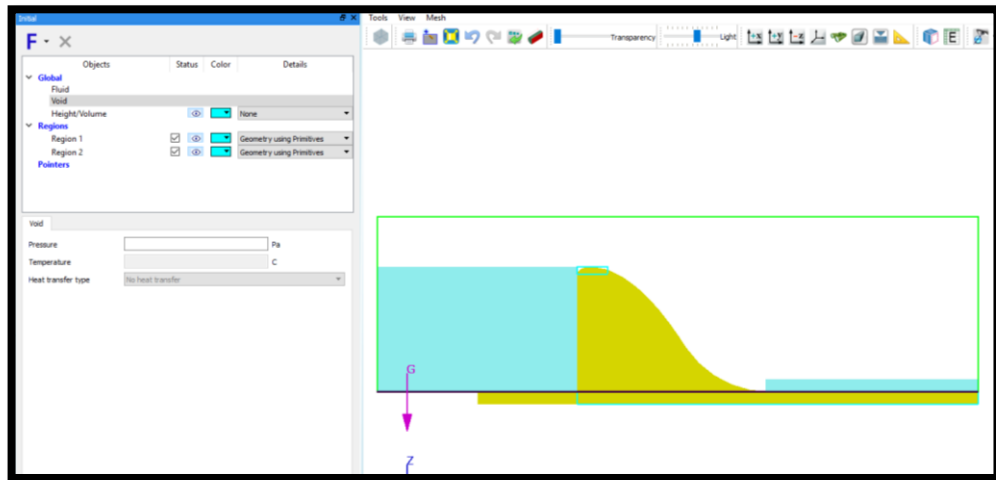
Vertedero de pared ancha

Figura 20



Vertedero tipo WES

Figura 21



Una vez concluida la carga de valores, se inicia el proceso de simulación, de cada una de las estructuras mencionadas.

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Ejemplo de práctica N° 3

Hoja de resultados

ASIGNATURA: Mecánica de Fluidos e Hidráulica Aplicada

TEMA: Vertedero de pared ancha, delgada y tipo WES

NOMBRE:

FECHA:

GRUPO:

DATOS:

De entrada

Tabla 1

Vertedero de pared delgada

		D. Libre	D. Sumergida
Carga de Agua (m)	H=	0.8	0.8
Ancho del vertedero(m)	b=	1	1
Altura(m)	c=	1	1
Coefficiente de Rehbock	μ=	0.67	0.67
Coefficiente de descarga	Cd=	1.978	1.944
Altura aguas abajo(m)=	h1=	1.10	
Resultados		Teórico	
Caudal(m³/s)	Q=	1.415	1.391

Tabla 2*Vertedero de pared gruesa*

Carga de Agua (m)	H=	0.8	
Ancho del vertedero(m)	b=	1	
Altura(m)	w=	1	
Espesor(m)	e=	2	
Coefficiente de Rehbock	μ=	0.67	
Relación	e/h	2.5	
Altura aguas abajo(m)=	h1=	1.20	
		D. Libre	D. Sumergida
Coefficiente de descarga	Cd=	1.531	1.505
Resultados		Teórico	
Caudal(m³/s)	Q=	1.096	1.041

Tabla 3*Vertedero WES*

Carga de Agua (m)	H=	2
Ancho del vertedero(m)	b=	1
Altura(m)	c=	5
		Teórico
Coefficiente de descarga	Cd=	2.2
Resultados		
Caudal(m³/s)	Q=	6.223

De laboratorio

Tabla 1

Vertedero de pared gruesa

Carga de Agua (m)	H=	0.8	
Ancho del vertedero(m)	b=	1	
Altura(m)	w=	1	
Espesor(m)	e=	2	
Resultados		Laboratorio	
		D. Sumergida	D. Libre
Altura pared salida(m)	h1=	1	0.15
Caudal(m³/s)	Q=	0.941	1.104
Coefficiente de descarga	Cd=	1.315	1.543

Tabla 2

Vertedero de pared delgada

Carga de Agua (m)	H=	0.8	
Ancho del vertedero(m)	b=	1	
Altura(m)	w=	1	
Espesor(m)	e=	2	
Resultados		Laboratorio	
		D. Sumergida	D. Libre
Altura pared salida(m)	h1=	0.5	0.2
Caudal(m³/s)	Q=	1.413	1.415
Coefficiente de descarga	Cd=	1.975	1.978

Tabla 3

Vertedero WES

Carga de Agua (m)	H=	2
Ancho del vertedero(m)	b=	1
Altura(m)	c=	5
Resultados		Teórico
Caudal(m³/s)	Q=	6.15
Coeficiente de descarga	Cd=	2.174

Tabla 4

Tabla de resumen

Vertedero de pared gruesa					
		Teórico		Laboratorio	
		D. Libre	D.Sumerg.	D. Sumerg	D. Libre
Carga de Agua (m)	H=	0.8	0.8	0.8	0.8
Caudal(m³/s)	Q=	1.096	1.077	0.941	1.104
Coeficiente de descarga	Cd=	1.531	1.505	1.533	1.543
Vertedero de Pared Delgada					
Carga de Agua (m)	H=	0.8	0.8	0.8	0.8
Caudal(m³/s)	Q=	1.415	1.391	1.413	1.415
Coeficiente de descarga	Cd=	1.978	1.944	1.975	1.978
Vertedero tipo WES					
		Teórico		Laboratorio	

Carga de Agua (m)	H=	2	2
Caudal(m ³ /s)	Q=	6.223	6.15
Coefficiente de descarga	Cd=	2.20	2.17

1. CÁLCULOS

Vertedero de pared delgada

Datos:

$$h := 0.8 \text{ m}$$

Carga de agua sobre el vertedero

$$b := 1 \text{ m}$$

Ancho del vertedero

$$c := 1 \text{ m}$$

Altura del vertedero

$$h1 := 1.5 \text{ m}$$

Altura aguas abajo del vertedero

$$\mu := \left(0.6035 + 0.0813 \left(\frac{(h + 0.0011 \text{ m})}{c} \right) \right) \cdot \left(1 + \frac{0.0011 \text{ m}}{h} \right)^{\frac{3}{2}}$$

Coefficiente de gasto Rehbock
Sotelo pag.241. tabla 7.1

$$\mu = 0.67$$

$$Q := \frac{2}{3} \cdot \sqrt{2 \cdot g} \cdot \mu \cdot b \cdot h^{\frac{3}{2}}$$

Ecuación del caudal para vertederos de pared delgada
Sotelo pag243 Ec. 275

$$Q = 1.415 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$Cd := \frac{2}{3} \cdot \sqrt{2 \cdot g} \cdot \mu = 1.978 \frac{\text{m}^{\frac{1}{2}}}{\text{s}}$$

Coefficiente de descarga

Programa D_S:

$$Q_{ps} := 1.413 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$Cdp := \frac{Q_{ps}}{b \cdot h^{\frac{3}{2}}} = 1.975 \frac{\text{m}^{\frac{1}{2}}}{\text{s}}$$

Programa D_L:

$$Q_{pl} := 1.415 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$Cdl := \frac{Q_{pl}}{b \cdot h^{\frac{3}{2}}} = 1.978 \frac{\text{m}^{\frac{1}{2}}}{\text{s}}$$

Vertedero de pared gruesa

$$h := 0.8 \text{ m}$$

$$b := 1 \text{ m}$$

$$c := 1 \text{ m}$$

$$h_1 := 1.5 \text{ m}$$

$$e := 2 \text{ m}$$

Espesor del vertedero

$$\frac{e}{h} = 2.5$$

Relacion espesor/carga de
vertedero

$$\frac{e}{h} > 0.67$$

Coefficiente de gasto Rehbock

$$u := \left(0.6035 + 0.0813 \left(\frac{(h + 0.0011 \text{ m})}{c} \right) \right) \cdot \left(1 + \frac{0.0011 \text{ m}}{h} \right)^{\frac{3}{2}} = 0.67$$

Sotelo pag.241. tabla 7.1

$$\varepsilon := 0.7 + \frac{0.185}{\frac{e}{h}} = 0.774$$

Coefficiente de reducción por
sumergencia

$$Cd := \varepsilon \cdot \frac{2}{3} \cdot u \cdot \sqrt{2 \cdot g} = 1.531 \frac{\text{m}^{\frac{1}{2}}}{\text{s}}$$

Coefficiente de descarga

$$Q := \varepsilon \cdot \frac{2}{3} \cdot u \cdot \sqrt{2 \cdot g} \cdot b \cdot h^{\frac{3}{2}} = 1.096 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Ecuación del caudal
para vertederos de
pared ancha

Programa:

D. Libre:

$$Q_{ps} := 1.104 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$Cd_p := \frac{Q_{ps}}{b \cdot h^{\frac{3}{2}}} = 1.543 \frac{\text{m}^{\frac{1}{2}}}{\text{s}}$$

D.Sumergida:

$$Q_{pl} := 0.941 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$Cd_p := \frac{Q_{pl}}{b \cdot h^{\frac{3}{2}}} = 1.315 \frac{\text{m}^{\frac{1}{2}}}{\text{s}}$$

Vertedero tipo WES

Datos:

$$h := 2 \text{ m}$$

Carga del agua sobre el vertedero

$$c := 5 \text{ m}$$

Altura del vertedero

$$b := 1 \text{ m}$$

Ancho del vertedero

$$h_1 := 2 \text{ m}$$

Altura aguas abajo

$$\xi := 1$$

Coef. de contracción lateral

$$m_1 := 2.1$$

Coef. de desagüe según la Bureau. Figura 9.23 pag. 4

$$\frac{h}{c} = 0.4$$

Coef. de descarga

$$m := 0.504 - 0.012 \cdot \frac{h}{c} = 0.499$$

$$Q := m \cdot \xi \cdot b \cdot \sqrt{2 \cdot g} \cdot h^{\frac{3}{2}}$$

Ecuación del caudal para vertederos tipo WES

$$Q = 6.253 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$Cd := m \cdot 1 \cdot \sqrt{2 \cdot g} = 2.211 \frac{\text{m}^{\frac{1}{2}}}{\text{s}}$$

Coef. de descarga 1

$$Cda := 2.20 \frac{\text{m}^{0.5}}{\text{s}}$$

Coef. de descarga 2 - Abaco Bureau of Reclamation

$$Q := Cda \cdot b \cdot h^{\frac{3}{2}} = 6.223 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Programa:

$$Q_p := 6.15 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Caudal de laboratorio

$$Cdp := \frac{Q_p}{b \cdot h^{\frac{3}{2}}} = 2.174 \frac{\text{m}^{\frac{1}{2}}}{\text{s}}$$

Coeficiente de descarga de laboratorio

2. CONCLUSIONES

- La simulación de los vertederos de pared ancha, pared delgada y tipo WES, necesitaron mallados adicionales para detallar la forma de su estructura o su perfil para reducir errores de cálculo por la geometría de la estructura.
- En cuanto a los resultados obtenidos mediante el uso de la teoría y el uso del programa son sumamente parecidos con un caudal para vertederos de pared delgada de $1.415 \text{ m}^3/\text{s}$ aplicando la teoría básica de la hidráulica y con el uso del programa tenemos un caudal de $1.413 \text{ m}^3/\text{s}$ con la condición de sumergencia y $1.415 \text{ m}^3/\text{s}$ con una descarga libre.

Para los vertederos de pared ancha tenemos resultados sumamente parecidos con un caudal teórico de $1.096 \text{ m}^3/\text{s}$ y un caudal obtenido del programa de $0.941 \text{ m}^3/\text{s}$ con la condición de sumergencia, para la condición de descarga libre tenemos un caudal de $1.104 \text{ m}^3/\text{s}$.

Para el vertedero tipo WES tenemos un caudal teórico de $6.223 \text{ m}^3/\text{s}$ y el caudal obtenido con el uso del programa nos dio $6.15 \text{ m}^3/\text{s}$, la diferencia de caudal presentada es como resultado de un bajo detalle en perfil del vertedero.

- Analizando todos los resultados, tenemos que el uso del programa es realmente beneficioso para el estudiante, ya que permite visualizar el comportamiento de las estructuras hidráulicas tales como: vertederos de pared delgada, pared ancha y tipo WES y comparar los resultados obtenidos con el programa versus los resultados teóricos, que en resumen son idénticos o muy parecidos.

3. RECOMENDACIONES

- Se recomienda, para conseguir resultados sumamente exactos usar un mallado con celdas más pequeñas, pero de esta forma se castiga con un tiempo elevado de simulación.

- Para tener un mejor detalle de las estructuras es recomendable usar un mallado anidado en las zonas donde se requiera dicho detalle, pero siempre manteniendo una relación de mallado de 1:2 y que estén siempre alineados.

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Práctica N° 3

Hoja de resultados

ASIGNATURA: Mecánica de Fluidos e Hidráulica Aplicada

TEMA: Vertedero de pared ancha, delgada y tipo WES

NOMBRE:

FECHA:

GRUPO:

ACTIVIDADES:

- 1.1. Con la geometría presentada de los vertederos de pared delgada, vertedero de pared ancha y vertedero tipo WES, se requiere cambiar la carga de agua sobre el vertedero para los dos primeros se emplea una carga de agua de $H=0.5\text{m}$ y para el vertedero tipo WES una carga de agua de $H=1.00\text{m}$. Presentar el caudal de salida, calados de agua y coeficientes de descarga.

2. DATOS:

De entrada

Tabla 1

Vertedero de pared delgada

Carga de Agua (m)	H=	
Ancho del vertedero(m)	b=	
Altura(m)	c=	
Coeficiente de Rehbock	μ=	
Coeficiente de descarga	Cd=	
Resultados		Teórico

Caudal(m³/s)	Q=	
--------------------------------	-----------	--

Tabla 2

Vertedero de pared gruesa

Carga de Agua (m)	H=	
Ancho del vertedero(m)	b=	
Altura(m)	w=	
Espesor(m)	e=	
Coefficiente de Rehbock	μ=	
Coefficiente de descarga	Cd=	
Relación	e/h	
Resultados		Teórico
Caudal(m³/s)	Q=	

Tabla 3

Vertedero WES

Carga de Agua (m)	H=		
Ancho del vertedero(m)	b=		
Altura(m)	c=		
		Teórico	Abaco
Coefficiente de descarga	Cd=		
Resultados			
Caudal(m³/s)	Q=		

De laboratorio

Tabla 1

Vertedero de pared gruesa

Carga de Agua (m)	H=	
Ancho del vertedero(m)	b=	
Altura(m)	w=	
Espesor(m)	e=	
Resultados		Laboratorio
		D. Sumergida
Altura pared salida(m)	h1=	
Caudal(m³/s)	Q=	
Coeficiente de descarga	Cd=	

Tabla 2

Vertedero de pared delgada

Carga de Agua (m)	H=	
Ancho del vertedero(m)	b=	
Altura(m)	w=	
Espesor(m)	e=	
Resultados		Laboratorio
		D. Sumergida
Altura pared salida(m)	h1=	0.5
Caudal(m³/s)	Q=	1.411
Coeficiente de descarga	Cd=	1.972

Tabla 3

Vertedero WES

Carga de Agua (m)	H=	2
Ancho del vertedero(m)	b=	1
Altura(m)	c=	5
Resultados		Teórico
Caudal(m³/s)	Q=	6.15
Coefficiente de descarga	Cd=	2.174

Tabla 4

Tabla de resumen

Vertedero de pared gruesa				
		Teórico	Laboratorio	
			D. Sumergida	D. Libre
Carga de Agua (m)	H=			
Caudal(m³/s)	Q=			
Coefficiente de descarga	Cd=			
Vertedero de Pared Delgada				
Carga de Agua (m)	H=			
Caudal(m³/s)	Q=			
Coefficiente de descarga	Cd=			
Vertedero tipo WES				
		Teórico	Laboratorio	
Carga de Agua (m)	H=			
Caudal(m³/s)	Q=			

Coeficiente de descarga	Cd=		
--------------------------------	------------	--	--

3. CÁLCULOS

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES:

RECOMENDACIONES:

PRÁCTICA N°4

TEMA: PRESIONES HIDROSTÁTICAS

1. Objetivos:

- 1.1.** Simular el comportamiento presiones hidrostáticas en superficies planas y curvas.
- 1.2.** Comparar los resultados obtenidos con el uso del programa Flow 3D y los resultados obtenidos aplicando la teoría presentada.

2. Marco teórico

2.1. Definición

La presión hidrostática, es aquella que se origina por todo fluido que se encuentre en reposo, se aplica sobre el fondo y paredes de la estructura que la contiene, esta fuerza se aplica sin necesidad de una fuerza o movimiento. La presión hidrostática ejerce una fuerza perpendicular a las paredes y mayor es el peso ejercido por el fluido a medida que incrementa la profundidad.

2.2. Ecuación

$$P = \gamma * h * A \quad (1.5)$$

Donde:

P = Empuje hidrostático

γ = Peso específico del fluido

h = Profundidad

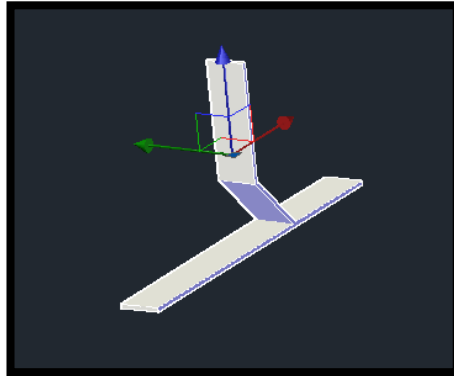
A = Área, según el diagrama de distribución de presiones

a) Ejercicio práctico

- b)** Crear los diseños de las respectivas de las respectivas superficies planas y curvas en la plataforma AutoCAD.

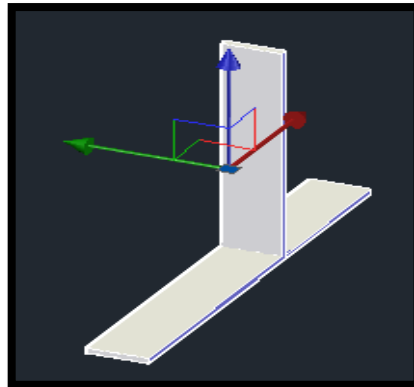
Superficie plana inclinada:

Figura 1



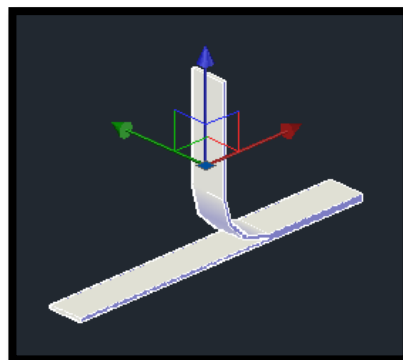
Superficie plana vertical:

Figura 2



Superficie curva:

Figura 3



Datos:

Superficie plana vertical:

$h := 4.5 \text{ m}$	Carga de agua
$b := 1 \text{ m}$	Espesor de la pared
$\gamma := 9.81 \frac{kN}{m^3}$	Peso específico del agua

Superficie plana inclinada:

$h := 4.5 \text{ m}$	Carga de Agua
$b := 1 \text{ m}$	Espesor de la pared
$l := 1.5 \text{ m}$	Longitud V. de la Compuerta
$\gamma := 9.81 \frac{kN}{m^3}$	Peso específico del agua

Superficie curva:

$h := 4.5 \text{ m}$	Carga de agua
$b := 1 \text{ m}$	Espesor de la pared
$r := 1.5 \text{ m}$	Radio de la compuerta circular
$\gamma := 9.81 \frac{kN}{m^3}$	Peso específico del agua

- c) Con las superficies creadas, es necesario crear las superficies correspondientes a la carga de agua.

Superfície plana vertical e inclinada:

Figura 4

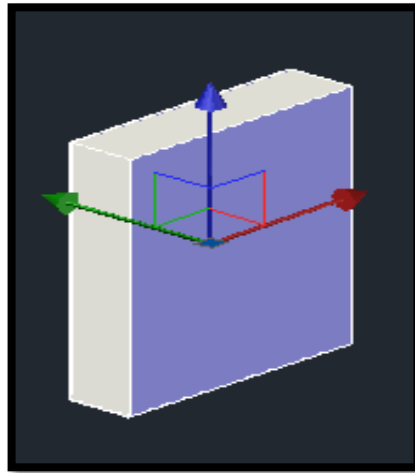
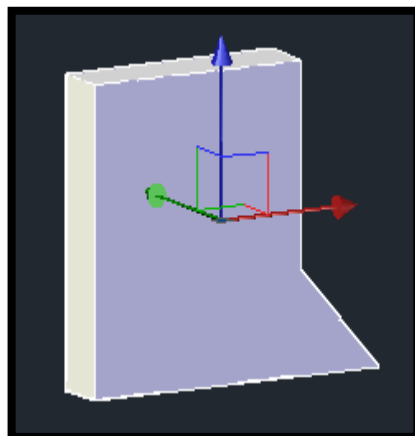
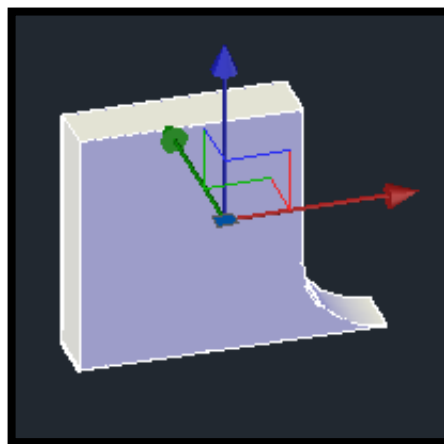


Figura 5



Superfície curva:

Figura 6



- d) Con la geometría ya definida, en el Flow 3D creamos los espacios de trabajo para cada una de las superficies y cargamos la geometría correspondiente, el tiempo de simulación para cada uno es de 1s.
- e) La configuración para la gravedad, viscosidad y turbulencia es la misma que se realizó en las prácticas anteriores.
- f) Se escogió en la pestaña Fluids, agua 20°C y no se realizó ninguna otra modificación.
- g) Posterior a tener la geometría, es necesario cargar el volumen de agua para cada superficie. Para cargar el volumen nos dirigimos a la sección de región dentro de Initial y creamos una región, en la cual se cargará el volumen de agua en formato stl.

En este punto es requerido establecer que se valor se desea calcular a Fluid y en la ventana que se muestra cambiamos la opción de Uniform pressure y Hydrostatic pressure, esto se realiza para todos los modelos de presión hidrostática.

Figura 7

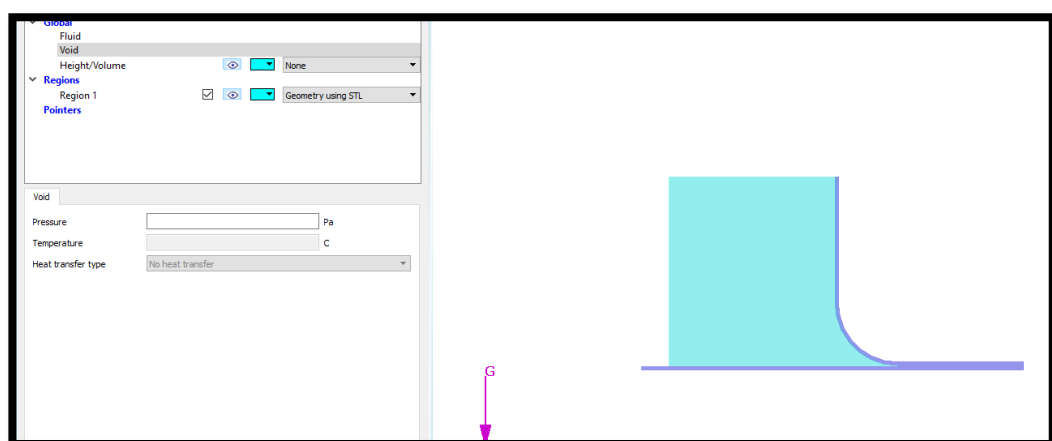


Figura 8

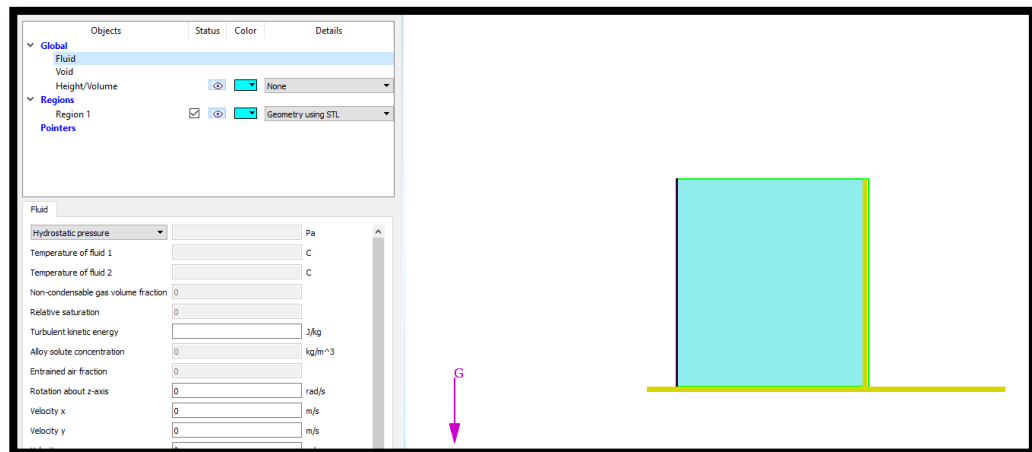
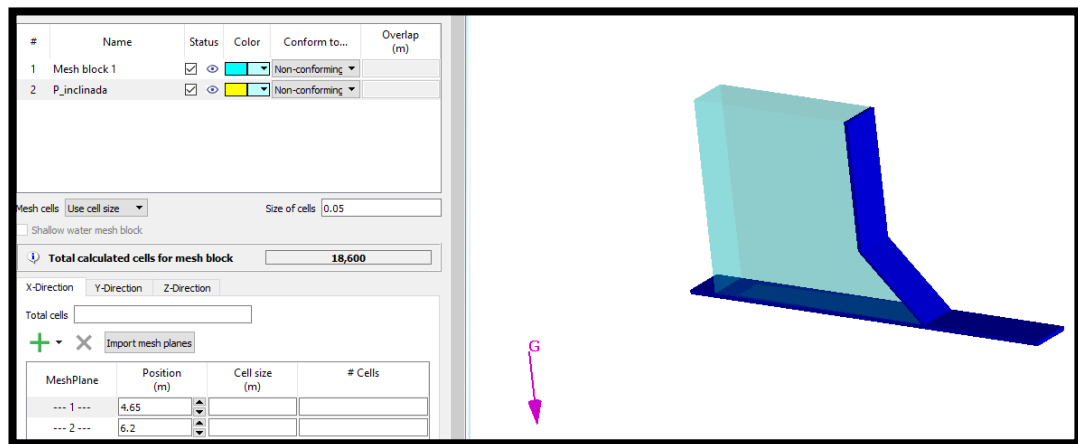


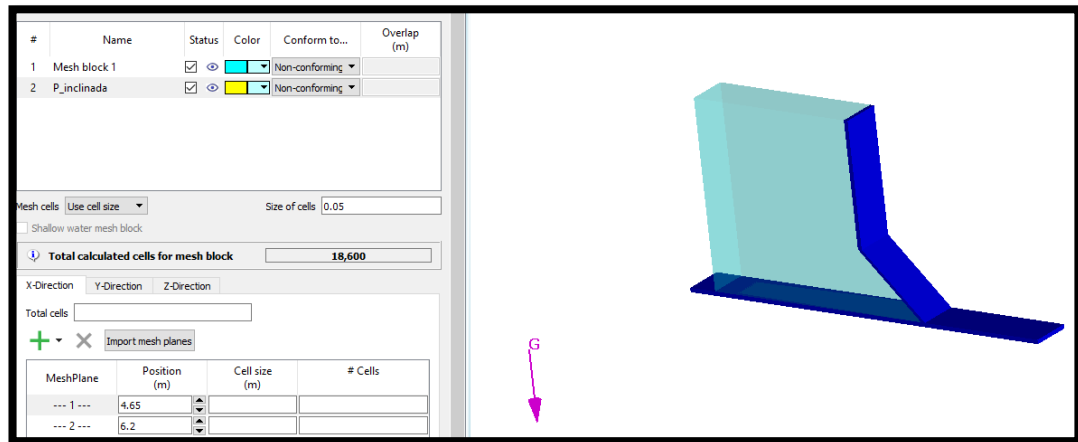
Figura 9



- h) Con la geometría y el volumen de agua cargados, procedemos a establecer al mallado de las estructuras, para la superficie plana vertical se usa un tamaño de malla de 0.05m, respecto a las otras superficies se usa un mallado anidado para otorgar cierta calidad de detalle, para la superficie genera se usó un mallado general de 0.05m y un mallado anidado ubicado en la parte inclinada y curva con un tamaño de malla de 0.05m con la opción de Conform to blocked volumen. Los límites del mallado están dados por el tamaño de la estructura.

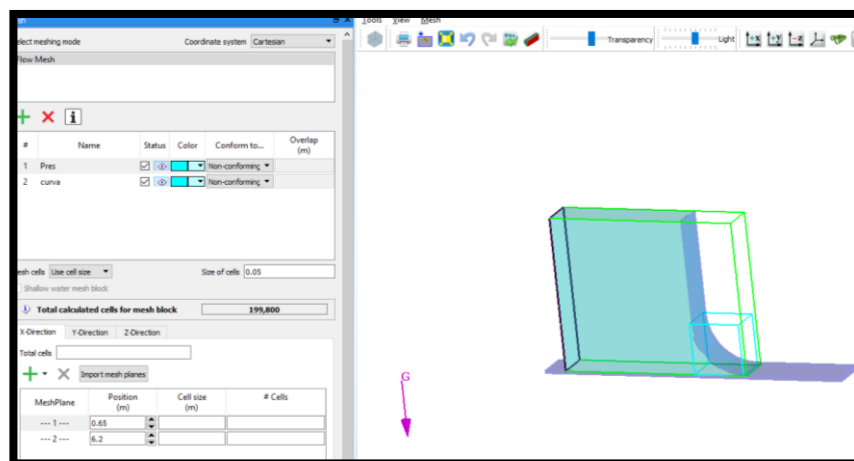
Superficie plana inclinada

Figura 10



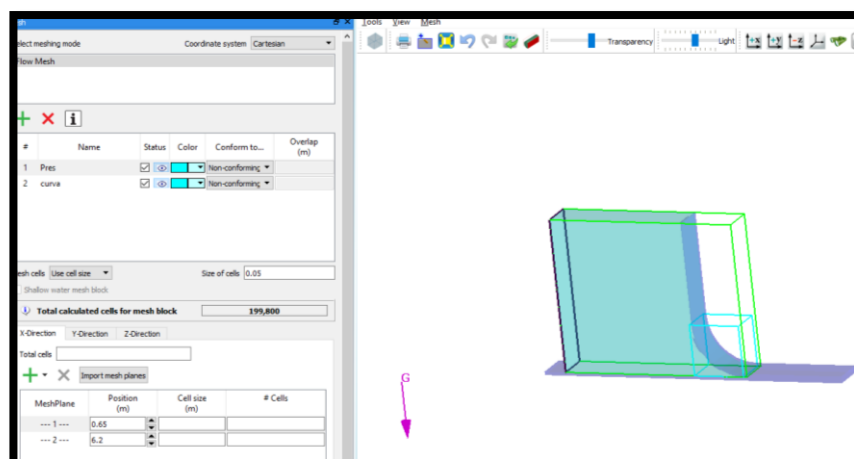
Superficie plana vertical

Figura 11



Superficie plana curva

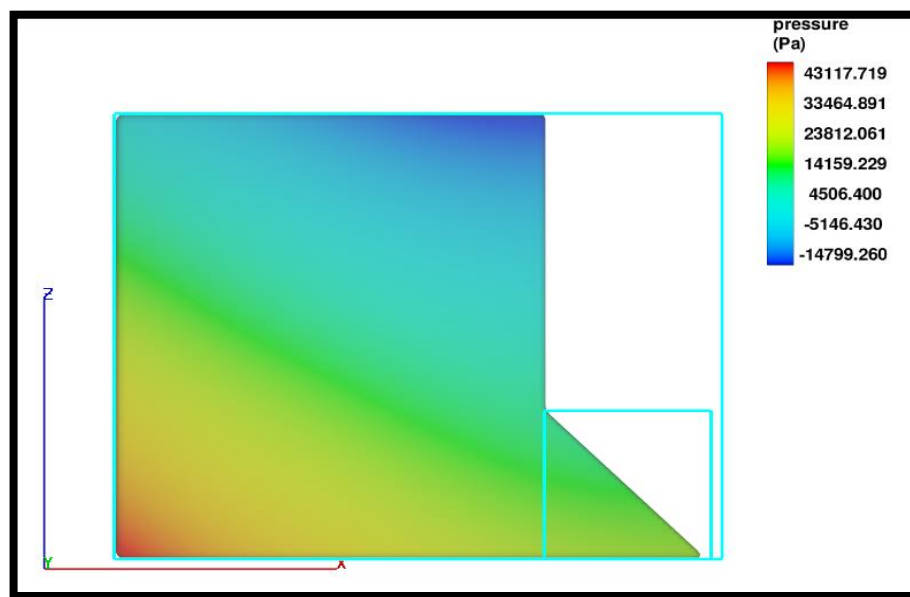
Figura 12



- i) Con el mallado definido, procedemos a seleccionar las condiciones de borde, para todos los casos se usó la condición de Symmetry, con todos los datos cargados procedemos a ejecutar la simulación.
- j) Una vez concluida la simulación para visualizar los resultados nos dirigimos a la pestaña Analyze y seleccionamos que resultados deseamos apreciar si en forma textual o en forma gráfica.

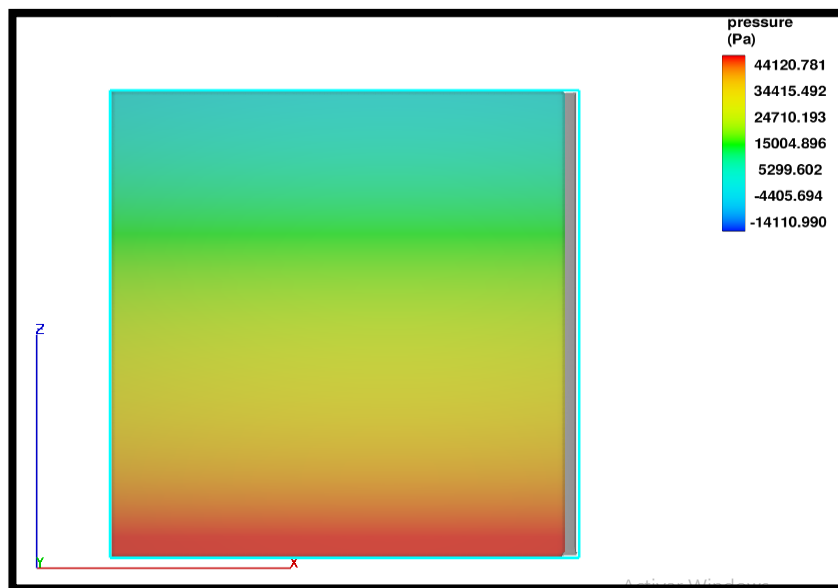
Superficie plana inclinada

Figura 13



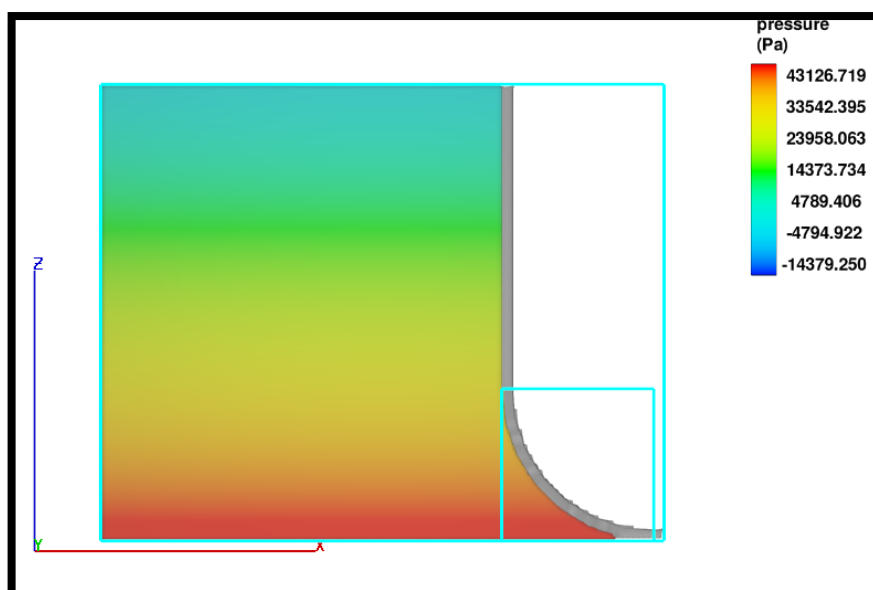
Superfície plan vertical

Figura 14



Superfície plana curva

Figura 15



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Ejemplo de práctica N° 4

Hoja de resultados

ASIGNATURA: Mecánica de Fluidos e Hidráulica Aplicada

TEMA: Presiones hidrostáticas

NOMBRE:

FECHA:

GRUPO:

DATOS:

Tabla 1

Superficie plana vertical

Carga de Agua (m)	H=	4.5
Ancho (m)	b=	1
Peso específico de agua(kN/m³)	γ=	9.81
Resultados		Teórico
Empuje Hidrostático (kN)	Ph=	99.32
Resultados		Laboratorio
Presión (KPa)	P=	44.12

Tabla 2

Superficie plana inclinada

Carga de Agua (m)	H=	4.5
Ancho (m)	b=	1
Longitud de la compuerta inclinada (m)	l=	1.5
Peso específico de agua(kN/m³)	γ=	9.81
Resultados		Teórico
Empuje Hidrostático (kN)	Phx=	55.181
	Phy=	66.218
	Ph=	86.196
Resultados		Laboratorio
Presión (KPa)	P=	43.11

Tabla 3

Superficie curva

Carga de Agua (m)	H=	4.5
Ancho (m)	b=	1
Radio de la compuerta curva (m)	r=	1.5
Peso específico de agua(kN/m³)	γ=	9.81
Resultados		Teórico
Empuje Hidrostático (kN)	Phx=	55.181
	Phy=	61.481
	Ph=	82.613

Resultados		Laboratorio
Presión (KPa)	P=	43.12

Tabla 4

Tabla de resumen

Superficie plana vertical		
Resultados		Teórico
Empuje Hidrostático (kN)	Ph=	99.32
Resultados		Laboratorio
Presión (KPa)	P=	44.12
Superficie plana inclinada		
Resultados		Teórico
Empuje Hidrostático (kN)	Ph=	86.19
Resultados		Laboratorio
Presión (KPa)	P=	43.11
Superficie plana curva		
Resultados		Teórico
Empuje Hidrostático (kN)	Ph=	82.613
Resultados		Laboratorio
Presión (kPa)	P=	43.12

1. CÁLCULOS

1. Pared Plana Vertical:

Datos:

+

$$h := 4.5 \text{ m}$$

Carga de agua

$$b := 1 \text{ m}$$

Espesor de la pared

$$\gamma := 9.81 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

Peso específico del agua

$$Ph := \gamma \cdot \frac{h^2}{2} \cdot b$$

Presion Hidrostática por cada m de ancho

$$Ph = 99.326 \text{ kN}$$

2. Pared con compuerta circular:

$$h := 4.5 \text{ m}$$

Carga de agua

$$b := 1 \text{ m}$$

Espesor de la pared

$$r := 1.5 \text{ m}$$

Radio de la compuerta circular

$$\gamma := 9.81 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

Peso específico del agua

Fuerza Horizontal

$$hc := h - \frac{r}{2} = 3.75 \text{ m}$$

Carga de agua hasta el centro de la compuerta circular

$$A1 := r \cdot b = 1.5 \text{ m}^2$$

Area de la compuerta

$$Fh := \gamma \cdot hc \cdot A1 = 55.181 \text{ kN}$$

Fuerza Horizontal

Fuerza Vertical

$$A2 := r \cdot (h - r) + \left(\frac{\pi \cdot r^2}{4} \right) = 6.267 \text{ m}^2$$

Area de la compuerta

$$V := A2 \cdot b = 6.267 \text{ m}^3$$

Volumen

$$Fv := V \cdot \gamma = 61.481 \text{ kN}$$

Fuerza Vertical

Calculo de la Fuerza Resultante:

$$F := \sqrt{Fh^2 + Fv^2} = 82.613 \text{ kN}$$

3. Pared Inclinada:

$$h := 4.5 \text{ m}$$

Carga de Agua

$$b := 1 \text{ m}$$

Espesor de la pared

$$l := 1.5 \text{ m}$$

Longitud V. de la Compuerta

$$\gamma := 9.81 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

Peso específico del agua

Calculo de la Fuerza Horizontal:

$$hc := h - \frac{l}{2} = 3.75 \text{ m}$$

Carga de agua hasta el centro de la compuerta circular

$$A1 := l \cdot b = 1.5 \text{ m}^2$$

Area de la compuerta

$$Fh := \gamma \cdot hc \cdot A1 = 55.181 \text{ kN}$$

Fuerza Horizontal

Calculo de la Fuerza Vertical:

$$A2 := hc \cdot l + \frac{l \cdot l}{2} = 6.75 \text{ m}^2$$

Area de la compuerta

$$V := A2 \cdot b = 6.75 \text{ m}^3$$

Volumen

$$Fv := V \cdot \gamma = 66.218 \text{ kN}$$

Fuerza Vertical

Caluculo de la Fuerza Resultantel

$$F := \sqrt{Fh^2 + Fv^2} = 86.196 \text{ kN}$$

2. CONCLUSIONES

- La representación de presiones hidráulicas en el programa Flow 3D, necesitó un mallado anidado para la zonas curvas e inclinadas que poseían las estructuras modeladas, esto se debió a filtraciones del fluido por una baja calidad de detalle durante la simulación.
- La presentación de resultados se lo hizo de forma gráfica para una apreciación más clara de la presión ejercida sobre las superficies.

3. RECOMENDACIONES

- Si se requiere observar el fenómeno de llenado de las estructuras, se recomienda no insertar un volumen de agua y dejar que se llene paulatinamente y después de cierto tiempo apreciar los resultados, si se recurre a este método el tiempo de simulación también será elevado.

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Práctica N° 4

Hoja de resultados

ASIGNATURA: Mecánica de Fluidos e Hidráulica Aplicada

TEMA: Presiones hidrostáticas

NOMBRE:

FECHA:

GRUPO:

1. ACTIVIDADES:

1.1. Basado en la geometría presentada de presiones hidrostáticas cambiar la altura de agua aplicada sobre las superficies a $H=3.5\text{m}$. Realizar el cálculo de las presiones hidrostáticas con la teoría básica de la hidráulica, realizar la representación en el programa Flow 3D presentando una captura de pantalla de cada superficie y realizar el diagrama de presiones usando el modelo del Flow 3D.

2. DATOS:

Tabla 1

Superficie plana vertical

Carga de Agua (m)	H=	
Ancho (m)	b=	
Peso específico de agua(kN/m^3)	γ=	
Resultados		Teórico
Empuje Hidrostático (kN)	Ph=	
Resultados		Laboratorio

Presión (KPa)	P=	
----------------------	-----------	--

Tabla 2

Superficie plana inclinada

Carga de Agua (m)	H=	
Ancho (m)	b=	
Longitud de la compuerta inclinada (m)	l=	
Peso específico de agua(kN/m³)	γ=	
Resultados		Teórico
Empuje Hidrostático (kN)	Phx=	
	Phy=	
	Ph=	
Resultados		Laboratorio
Presión (KPa)	P=	

Tabla 3

Superficie curva

Carga de Agua (m)	H=	
Ancho (m)	b=	
Radio de la compuerta curva (m)	r=	
Peso específico de agua(kN/m³)	γ=	
Resultados		Teórico
Empuje Hidrostático (kN)	Phx=	
	Phy=	

	Ph=	
Resultados		Laboratorio
Presión (KPa)	P=	

2. GRÁFICOS

3. CÁLCULOS

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES:

RECOMENDACIONES:

PRÁCTICA N°5

TEMA: COMPUERTAS

1. Objetivos:

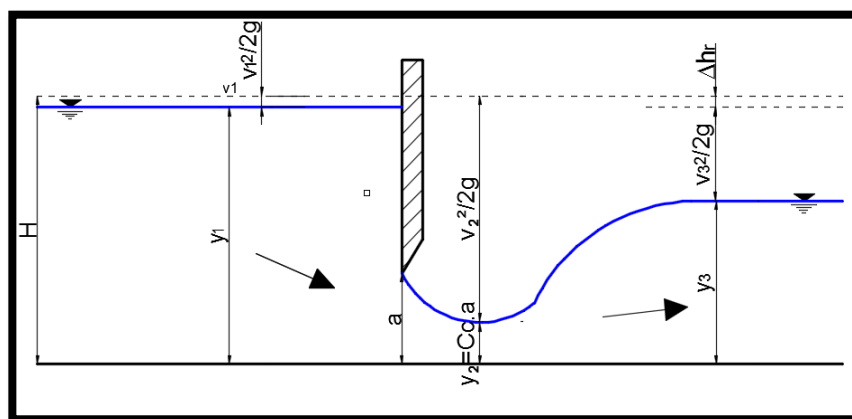
- 1.1. Simular el comportamiento de un canal con compuertas usando el Software Flow 3D.
- 1.2. Comparar los datos obtenidos mediante el uso del programa Flow 3D y los resultados obtenidos aplicando la teoría presentada.

2. Marco teórico

Las compuertas son elementos móviles, con forma plana o curva que al levantarse parcial o totalmente permiten el paso del líquido, forman parte de las presas para regular el flujo de los caudales, el nivel y para desalojar los materiales flotantes. Las compuertas pueden accionarse manual o de forma automática por la presión del agua, la construcción de compuertas está relacionado directamente con el desarrollo de los sistemas de riego, navegación y almacenamiento de agua (Penagos, 2012).

Figura 1

Compuerta plana



Nota: En la figura se presentan el comportamiento de una compuerta con sus respectivos valores. Fuente: Sotelo (1997).

2.1. Ecuación de gasto para una compuerta plana

$$Q = \frac{C_c \cdot C_v b a \sqrt{2g \cdot y_1}}{\sqrt{1 + \frac{C_c \cdot a}{y_1}}}$$

$$Q = C_d \cdot b \cdot a \cdot \sqrt{2g \cdot y_1}$$

La ecuación para determinar el coeficiente de descarga es:

$$C_d = \frac{C_c \cdot C_v}{\sqrt{1 + \frac{C_c}{y_1}}}$$

Según Sotelo Ávila (1997), para fines prácticos se recomienda usar un coeficiente de contracción $C_c=0.62$, para cualquier relación de y_1/a esto incluye descarga sumergida.

Para el coeficiente de velocidad Knapp propone la siguiente ecuación, basada en experiencias de Gentilini la cual se puede utilizar para compuertas con descarga libre en función de a/y_1 y que tiene como límite de $C_v=1$.

$$C_v = 0.960 + 0.0979 \frac{a}{y_1}$$

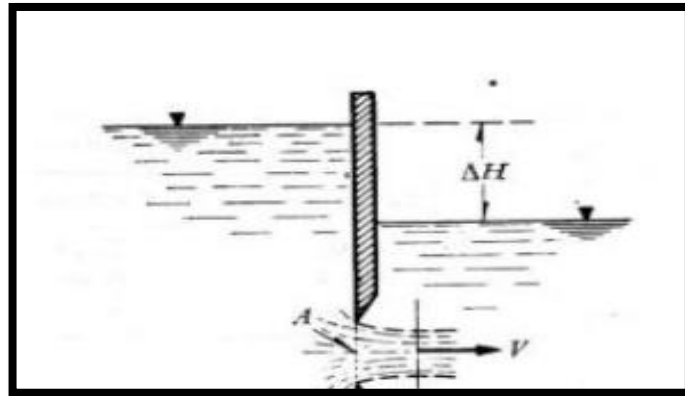
2.1.1. Descarga sumergida

Una descarga sumergida se considera cuando aguas abajo se crea una variación de presión, generada por un volumen de agua que es lo suficiente mente alto para sumergir la sección contraída. Se puede calcular el caudal de salida con la siguiente ecuación:

$$Q = C_d * A * \sqrt{2g\Delta H}$$

Figura 2

Descarga sumergida



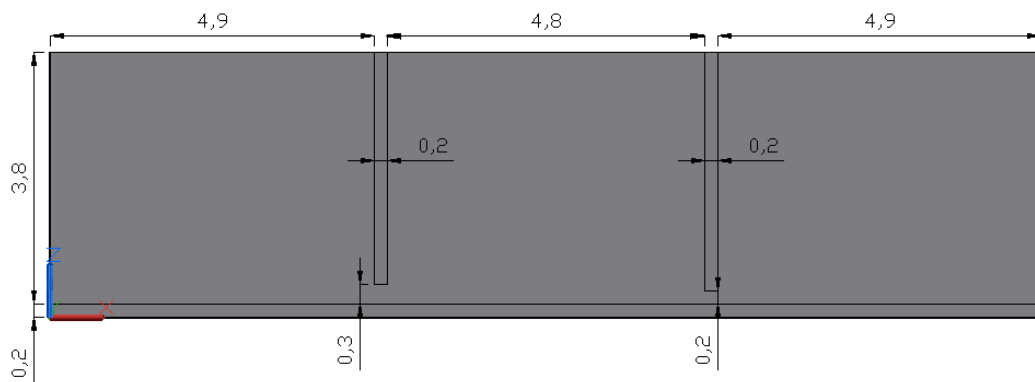
Nota: la figura muestra el comportamiento de una compuerta con descarga sumergida. Fuente: Sotelo (1997).

3. Ejercicio práctico

- a) El primer paso es crear la geometría del canal, para este caso se usó la plataforma AutoCAD para el diseño.

Figura 3

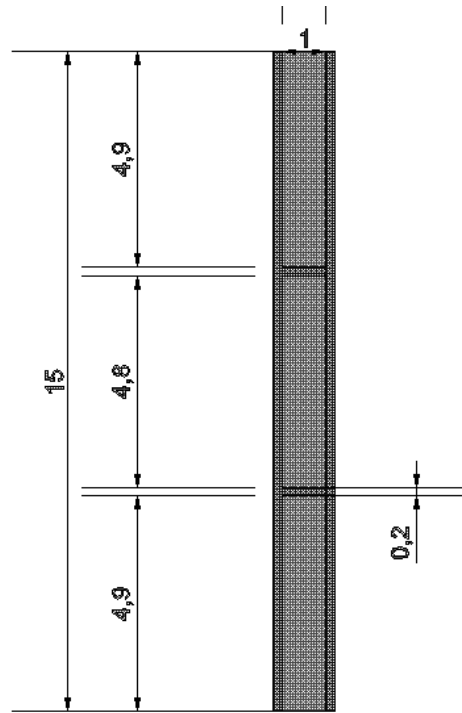
Geometría canal-corte en el eje Y



Nota: Vista lateral del corte en el eje Y, del canal mostrando la geometría empleada. Elaborado por: El autor.

Figura 4

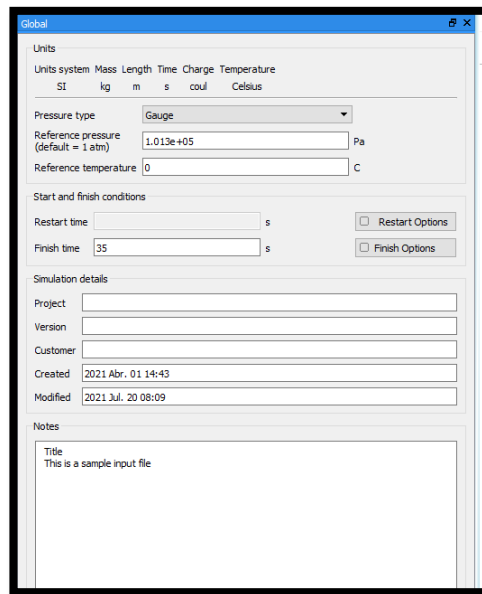
Geometría canal-vista superior del canal



Nota: Vista superior del canal mostrando la geometría empleada. Elaborado por: El autor.

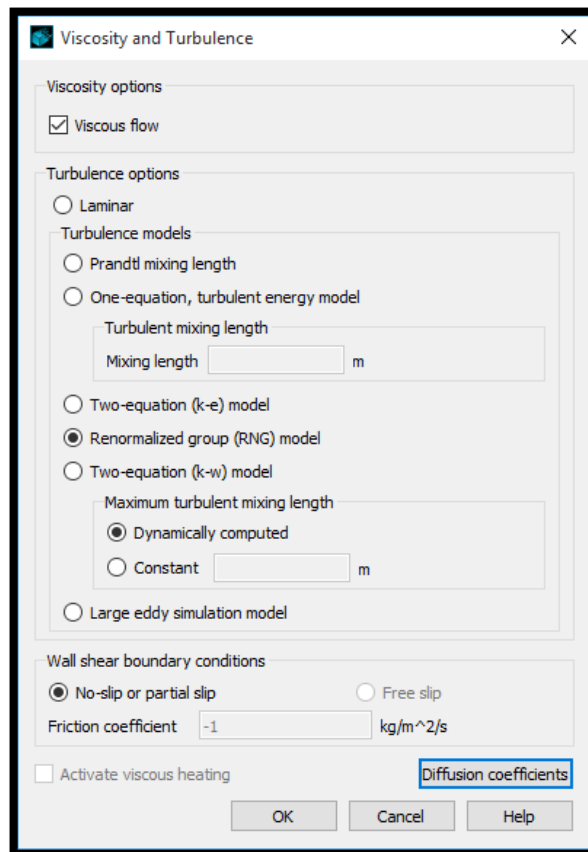
- b) Con la geometría creada, procedemos a crear el espacio de trabajo en el cual se almacenará la simulación, el tiempo de simulación dado a esta estructura hidráulica es de 35s, el tiempo fue definido mediante experimentación con el criterio de no presentar variaciones en el flujo del agua.

Figura 5



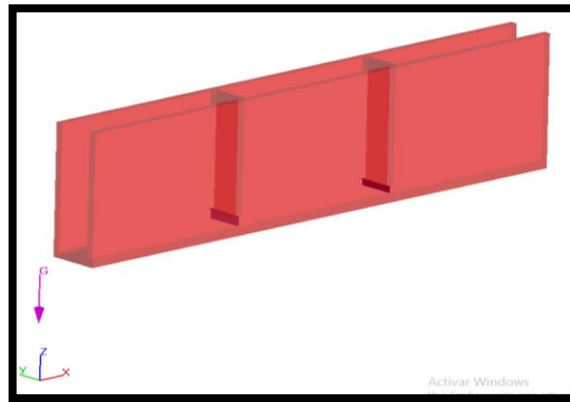
c) La configuración de la gravedad, viscosidad y turbulencia es la misma que se presentó en la práctica 1(configuración general).

Figura 6



- d) A continuación, se determina el tipo de fluido que será usado en nuestra simulación para este caso se usó agua a una temperatura de 20°C.
- e) Lo siguiente a realizar es cargar la geometría en el programa sin olvidarnos que el formato para carga debe ser en formato stl.

Figura 7

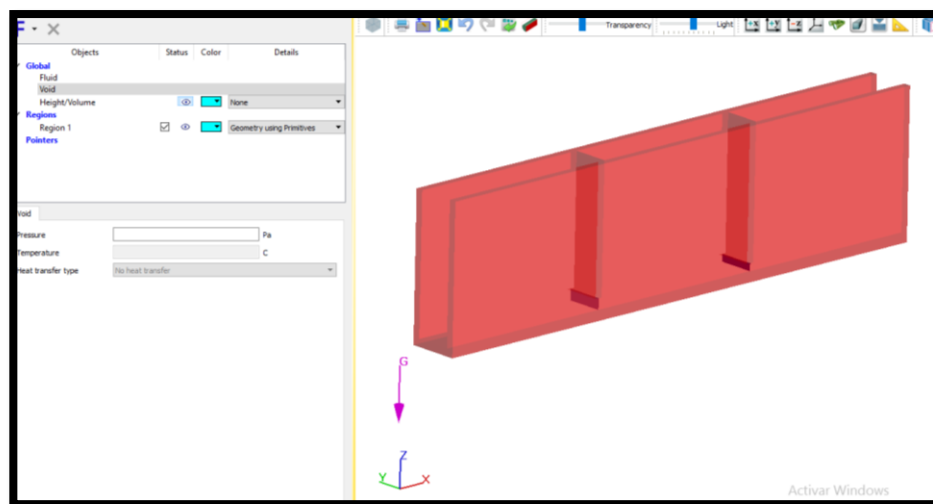


- f) El mallado tiene como dimensiones, en $X1=3$, $X2=13$, $Y1=0$, $Y2=1.4$ y $Z1=0$, $Z2=2.2$, se empleó un mallado anidado en la parte de las compuertas para un mayor detalle.

Para el mallado general se usó un tamaño de celda de 0.05m

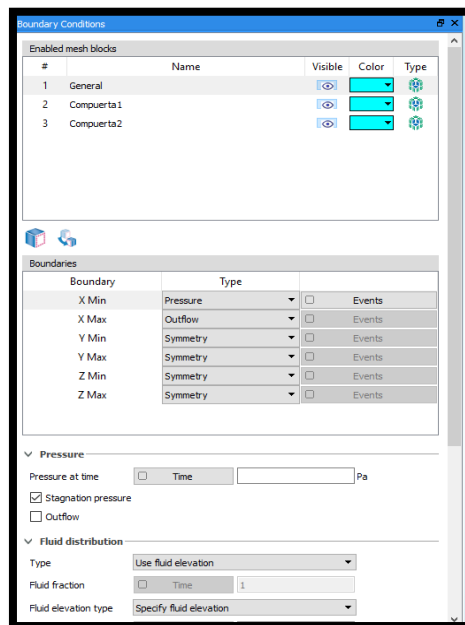
Para el mallado ubicado en las compuertas se usó un mallado de 0.01m.

Figura 8



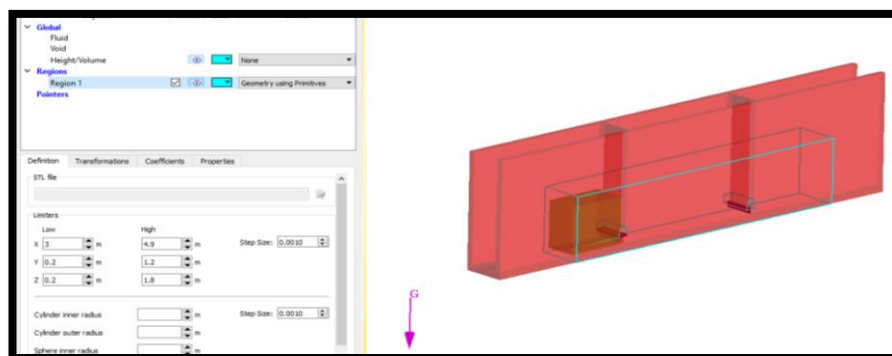
- k) Para la configuración de las condiciones iniciales del modelo en Boundaries, las opciones en xmin usamos pressure con una elevación de 1.8m y en xmax usamos outflow.

Figura 9



- l) Posterior a tener la geometría, es necesario cargar el volumen de agua inicial. Para cargar el volumen nos dirigimos a la sección de región dentro de Initial y creamos una región, los límites de la región usados para esta obra hidráulica son las siguientes: Xlow=3, Xhigh:4.9, Ylow=0.2, Yhigh:1.2, Zlow=0.2, Zhigh:1.8.

Figura 10



- m) Terminada la configuración del modelo se procede a iniciar la simulación

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Ejemplo de práctica N° 5

Hoja de resultados

ASIGNATURA: Mecánica de Fluidos e Hidráulica Aplicada

TEMA: Canales

NOMBRE:

FECHA:

GRUPO:

1. DATOS:

De entrada

Tabla 1

Compuerta 1

Carga de Agua (m)	H=	1.60
Altura de la compuerta 1	a1=	0.3
Área(m²) 1	A1=	0.3
Espesor(m)	e=	0.20
Coefficiente de contracción	Cc=	0.62
Coefficiente de velocidad	Cv=	0.978
Coefficiente de descarga	Cd=	0.574
Resultados		Teórico
Caudal(m³/s)	Q=	0.536

Tabla 2*Compuerta 2*

Carga de Agua (m)	H=	1.107
Altura de la compuerta 2	a2=	0.2
Área(m²) 2	A2=	0.2
Espesor(m)	e=	0.20
Coefficiente de contracción	Cc=	0.62
Coefficiente de velocidad	Cv=	0.978
Coefficiente de descarga	Cd=	0.575
Resultados		Teórico
Caudal(m³/s)	Q=	0.536

De laboratorio:**Tabla 1***Compuerta 1*

Carga de Agua (m)	H=	1.584
Altura de la compuerta 1	a1=	0.3
Área(m²) 1	A1=	0.3
Espesor(m)	e=	0.20
Coefficiente de contracción	Cc=	0.62
Coefficiente de velocidad	Cv=	0.979
Coefficiente de descarga	Cd=	0.574
Resultados		Teórico
Caudal(m³/s)	Q=	0.755

Tabla 2*Compuerta 2*

Carga de Agua (m)	H=	1.13
Altura de la compuerta 2	a2=	0.2
Área(m²) 2	A2=	0.2
Espesor(m)	e=	0.20
Coefficiente de contracción	Cc=	0.62
Coefficiente de velocidad	Cv=	0.977
Coefficiente de descarga	Cd=	0.575
Resultados		Teórico
Caudal(m³/s)	Q=	0.755

2. CÁLCULOS

$$A1 := b \cdot a1 = 0.3 \text{ m}^2$$

$$A2 := b \cdot a2 = 0.2 \text{ m}^2$$

$$Cv1 := 0.960 + \frac{0.0979 \cdot a1}{y1} = 0.978$$

$$Cd1 := \frac{Cc \cdot Cv1}{\sqrt{1 + \frac{Cc \cdot a1}{y1}}} = 0.574$$

$$Cv2 := 0.960 + \frac{0.0979 \cdot a2}{y2}$$

$$Cd2 := \frac{Cc \cdot Cv2}{\sqrt{1 + \frac{Cc \cdot a2}{y2}}}$$

$$Qp1 := Cd1 \cdot A1 \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot (y1 - y2)}$$

$$Qp2 := Cd2 \cdot A2 \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot y2}$$

$$y2 := Qp1 = Qp2 \xrightarrow{\text{solve}, y2} \begin{bmatrix} 1.1068650325255861396 \cdot \text{m} \\ -0.12118100621894805458 \cdot \text{m} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1.107 \\ -0.121 \end{bmatrix} \text{ m}$$

$$y2 = 1.107 \text{ m}$$

$$Qp1 := Cd1 \cdot A1 \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot (y1 - y2)} = 0.536 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$Cv2 := 0.960 + \frac{0.0979 \cdot a2}{y2} = 0.978$$

$$Cd2 := \frac{Cc \cdot Cv2}{\sqrt{1 + \frac{Cc \cdot a2}{y2}}} = 0.575$$

$$Qp2 := Cd2 \cdot A2 \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot y2} = 0.536 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES:

- El mallado general dado al canal es insuficiente para detallar la geometría que corresponde a las compuertas por este motivo se empleó un mallado específico, solo con el uso de mallado general se presentó una geometría redondeada en los filos de las compuertas, lo cual lleva a que los resultados se alteren en cierta medida.
- Los resultados obtenidos del caudal, calados y coeficientes de descarga a partir del programa Flow 3D, tuvieron cierta variación con los resultados usando la teoría de la hidráulica básica, a estos valores se les puede aproximar en mayor medida si se realiza una calibración más detallada al modelo.

RECOMENDACIONES:

- Se recomienda realizar una verificación del mallado, en el que se procure revisar la alineación debido que un desfase entre mallas produce un número mayor de cálculos y esto lleva un aumento en el tiempo de simulación.

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Práctica N° 5

Hoja de resultados

ASIGNATURA: Mecánica de Fluidos e Hidráulica Aplicada

TEMA: Canales

NOMBRE:

FECHA:

GRUPO:

1. ACTIVIDADES:

1.1. Con la geometría presentada del canal, cambiar la carga de agua de $H=1.00\text{m}$.

Presentar el caudal de salida, calados de agua y coeficientes de descarga.

2. DATOS:

De entrada

Tabla 1

Compuerta 1

Carga de Agua (m)	H=	
Altura de la compuerta 1	a1=	
Área(m²) 1	A1=	
Espesor(m)	e=	
Coefficiente de contracción	Cc=	
Coefficiente de velocidad	Cv=	
Coefficiente de descarga	Cd=	
Resultados		Teórico
Caudal(m³/s)	Q=	0.536

Compuerta 2

Carga de Agua (m)	H=	
Altura de la compuerta 2	a2=	
Área(m²) 2	A2=	
Espesor(m)	e=	
Coefficiente de contracción	Cc=	
Coefficiente de velocidad	Cv=	
Coefficiente de descarga	Cd=	
Resultados		Teórico
Caudal(m³/s)	Q=	

De laboratorio:

Tabla 1

Compuerta 1

Carga de Agua (m)	H=	
Altura de la compuerta 1	a1=	
Área(m²) 1	A1=	
Espesor(m)	e=	
Coefficiente de contracción	Cc=	
Coefficiente de velocidad	Cv=	
Coefficiente de descarga	Cd=	
Resultados		Teórico
Caudal(m³/s)	Q=	

Tabla 2*Compuerta 2*

Carga de Agua (m)	H=	
Altura de la compuerta 2	a2=	
Área(m²) 2	A2=	
Espesor(m)	e=	
Coefficiente de contracción	Cc=	
Coefficiente de velocidad	Cv=	
Coefficiente de descarga	Cd=	
Resultados		Teórico
Caudal(m³/s)	Q=	

3. CÁLCULOS

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES:

RECOMENDACIONES:

PRÁCTICA N°6

TEMA: PÉRDIDAS DE CARGA DE FLUJOS A PRESIÓN

1. Objetivos:

- 1.3. Simular el comportamiento de una tubería usando el Software Flow 3D.
- 1.4. Comparar los datos obtenidos mediante el uso del programa Flow 3D y los resultados obtenidos aplicando la teoría presentada.

2. Ecuaciones empleadas

2.1. Ecuación de continuidad

$$\rho_1 A_1 V_1 = \rho_2 A_2 V_2$$

Donde:

ρ_1, ρ_2 = Densidad

A_1, A_2 = Área de la sección de 1 y la sección 2

V_1, V_2 = Velocidad de la sección de 1 y la sección 2

Como el flujo que circula por el conducto es el mismo, la densidad es la misma.

Simplificando la ecuación en:

$$A_1 V_1 = A_2 V_2$$

2.2. Ecuación de Bernoulli

$$Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + h_{f1-2}$$

Donde:

Z_1 y Z_2 = Cargas o energía de posición

$\frac{P_1}{\gamma}$ y $\frac{P_2}{\gamma}$ = Cargas o energías de presión

$\frac{v_1^2}{2g}$ y $\frac{v_2^2}{2g}$ = Cargas o energías de velocidad

h_{f1-2} = Pérdidas de energía de la sección 1 a la sección 2

2.2.1.1. Pérdidas por fricción

- **Número de Reynolds**

$$Re = \frac{V * D}{\nu}$$

Donde:

V = Velocidad media

D = Diámetro del conducto

ν = Viscosidad cinemática del fluido

- **Ecuación de Darcy-Weisbach**

$$h_f = f * \frac{l}{D} * \frac{V^2}{2g}$$

Donde:

f = Coeficiente de fricción en tuberías con rugosidad

D = Diámetro del conducto

V = Velocidad media

l = Longitud de la tubería

g = Gravedad

- **Ecuación de Colebrook-White**

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{\varepsilon/D}{3.71} + \frac{2.51}{Re * \sqrt{f}} \right)$$

Donde:

f = Coeficiente de fricción en tuberías con rugosidad

D = Diámetro del conducto

ε = Rugosidad absoluta

2.2.1. Pérdidas locales

La fórmula general para expresar las pérdidas locales es:

$$h = k \frac{V^2}{2g} \quad (1.7)$$

Donde:

k = Coeficiente k sin dimensiones que depende del tipo de pérdida, el número de Reynolds y la rugosidad del tubo

$\frac{v^2}{2g}$ = Carga de velocidad, aguas abajo de la zona de alteración del flujo

2.2.1.1. Pérdidas por entrada

$$k = 0.5 + 0.3 * \cos\theta + 0.2 * \cos(\theta)^2$$

Donde:

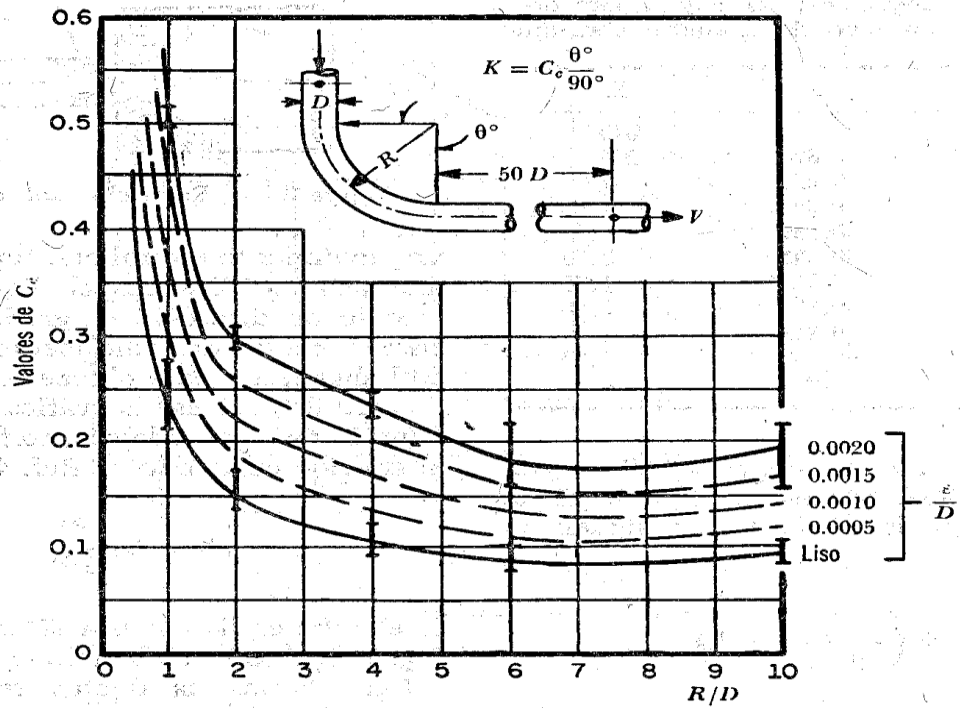
θ = Ángulo de inclinación entre el plano vertical y la tubería

k = Coeficiente k sin dimensiones que depende del tipo de pérdida, el número de Reynolds y la rugosidad del tubo

2.2.1.2. Pérdidas por cambio de dirección

Figura 1

Resistencia al flujo por cambios de presión



Nota: En la figura se determina el coeficiente de contracción en una curva.

Fuente: Sotelo (1997).

- **Ecuación**

$$k = C_c * \frac{\theta^\circ}{90^\circ}$$

Donde:

θ = Ángulo de curvatura de la tubería

C_c = Coeficiente de fricción en la curva

2.2.2. Pérdidas por reducción

Tabla 1

Coefficientes de pérdida por reducción gradual de ángulo θ , según Kisieliev

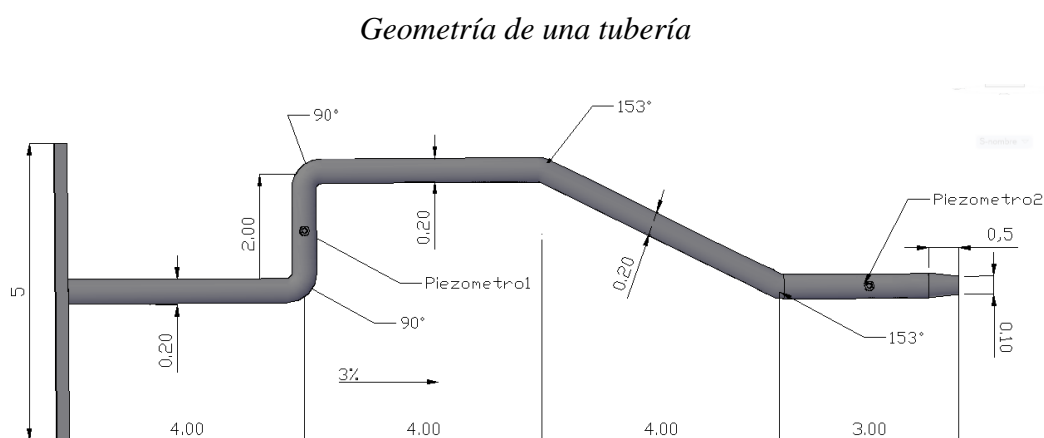
Angulo de reducción θ y coeficientes de perdida K												
θ	4°-5°	7°	10°	15°	20°	30°	35°	40°	45°	60°	75°	80°
K	0.060	0.16	0.18	0.20	0.22	0.24	0.26	0.28	0.30	0.32	0.34	0.35
	0.005											

Nota: Tabla obtenida de Sotelo (1997).

3. Ejercicio práctico

- a) El primer paso es crear la geometría de la tubería, para este caso se usó la plataforma AutoCAD para el diseño.

Figura 2



Nota: Vista superior de la geometría de una tubería(bocatoma) con descarga libre.
Elaborado por: El autor.

Modelo 3D de una tubería

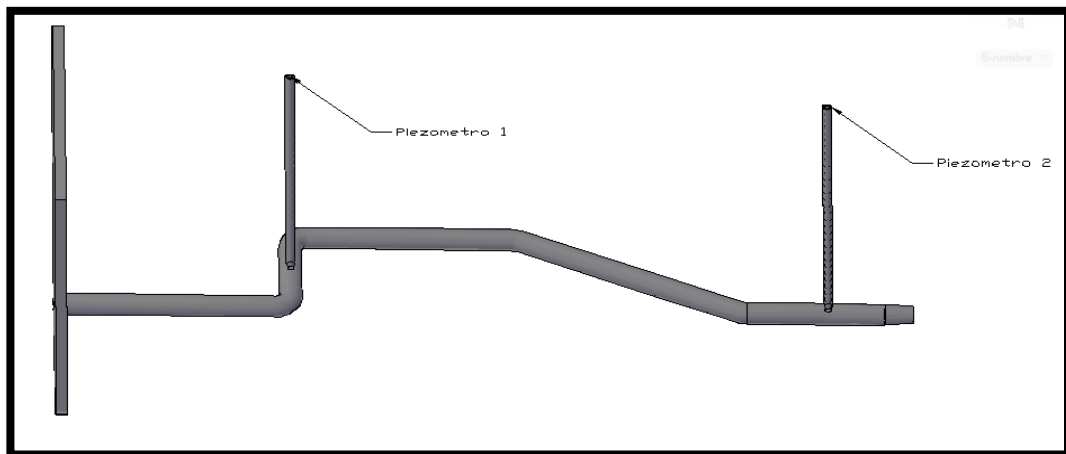
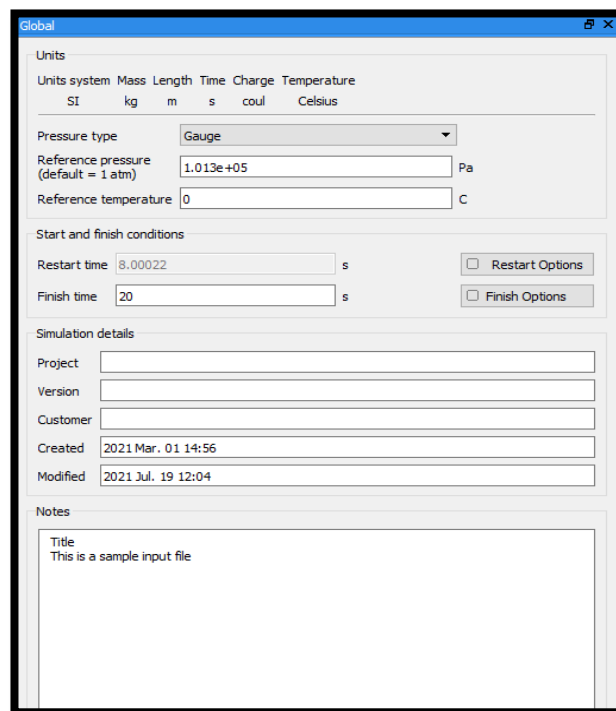


Figura 6-3

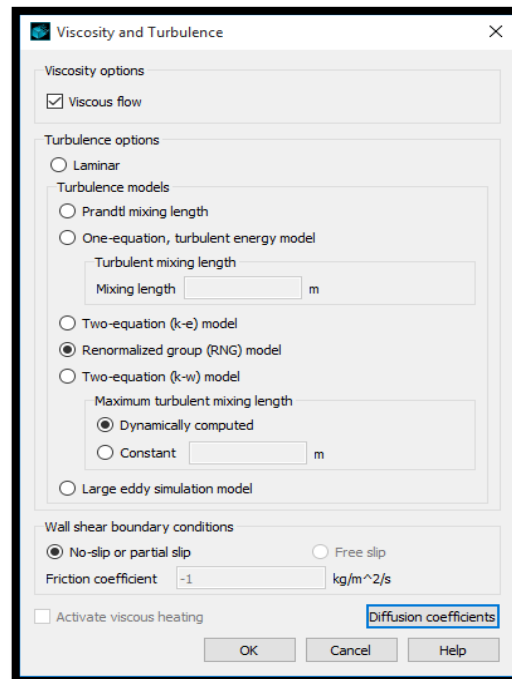
- b) Con la geometría creada, procedemos a crear el espacio de trabajo en el cual se almacenará la simulación, el tiempo de simulación dado a esta estructura hidráulica es de 20s, el tiempo fue definido mediante experimentación con el criterio de que el flujo de agua no presente variación.

Figura 4



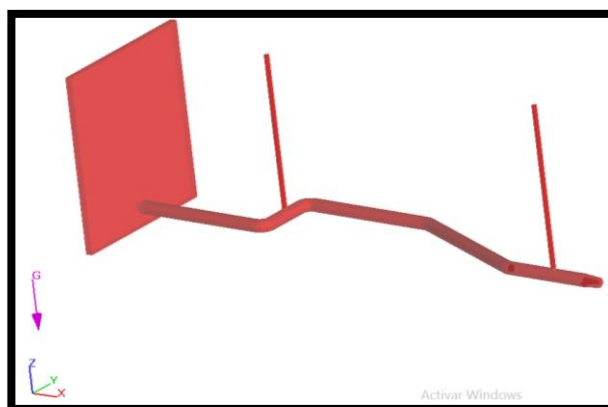
- c) La configuración de la gravedad, viscosidad y turbulencia es la misma que se presentó en la práctica 1(configuración general).

Figura 5



- d) A continuación, se determina el tipo de fluido que será usado en nuestra simulación para este caso se usó agua a una temperatura de 20°C.
- e) Lo siguiente a realizar es cargar la geometría en el programa sin olvidarnos que el formato para carga debe ser en formato stl.

Figura 6



- f) El mallado para esta estructura hidráulica tiene una configuración especial para obtener una geometría de cálculo lo más parecido a la geometría real.

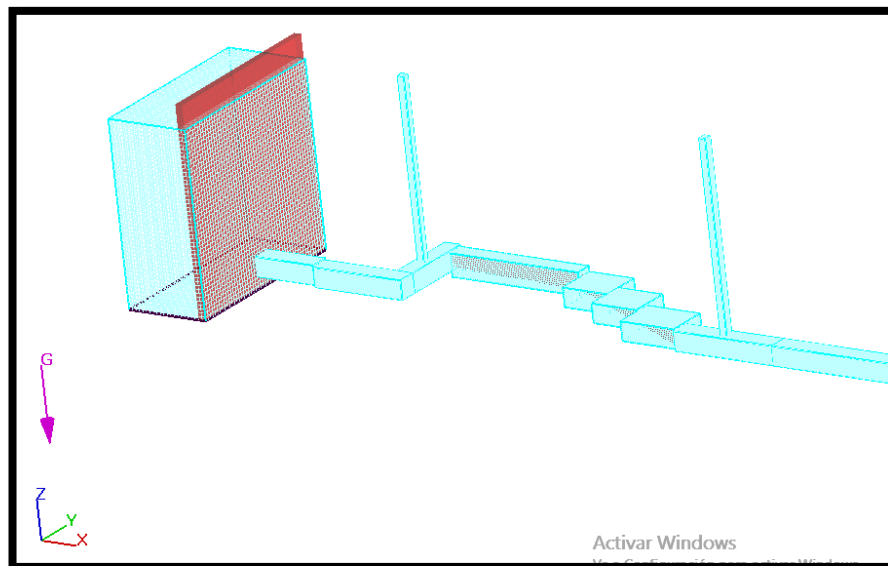
Para el mallado que abarca la pared y el volumen de agua se usó un tamaño de celda de 0.10m

Para el mallado que corresponde a la conexión de la tubería con la pared se empleó un mallado anidado de 0.01m.

El mallado empleado en la geometría de la tubería se lo realizó en partes debido a la inclinación que esta posee y el mallado que se empleó para estos tramos esta entre 0.025m y 0.05m.

El mallado usado en los piezómetros es de 0.0125m

Figura 7



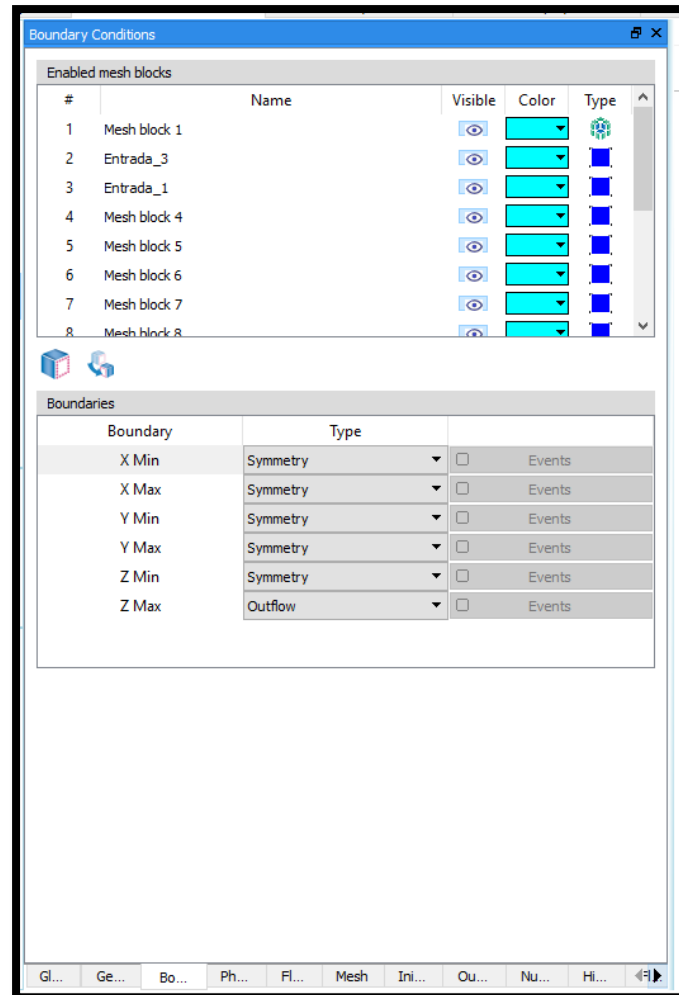
- n) Para la configuración de las condiciones iniciales del modelo se selecciona la pestaña Boundaries.

Para el mallado que contiene la pared y el volumen del fluido se dan las condiciones de X_{max} =Volume Flow Rate y para X_{min} =Outflow.

El mallado correspondiente a la geometría de la tubería tiene la condición de Symmetry tanto para X_{max} como X_{min} , el único cambio es en el mallado final el cual se le dio la condición en X_{max} =Outflow.

Para el mallado correspondiente a los piezómetros se usa la condición en $Z_{max} = \text{Outflow}$.

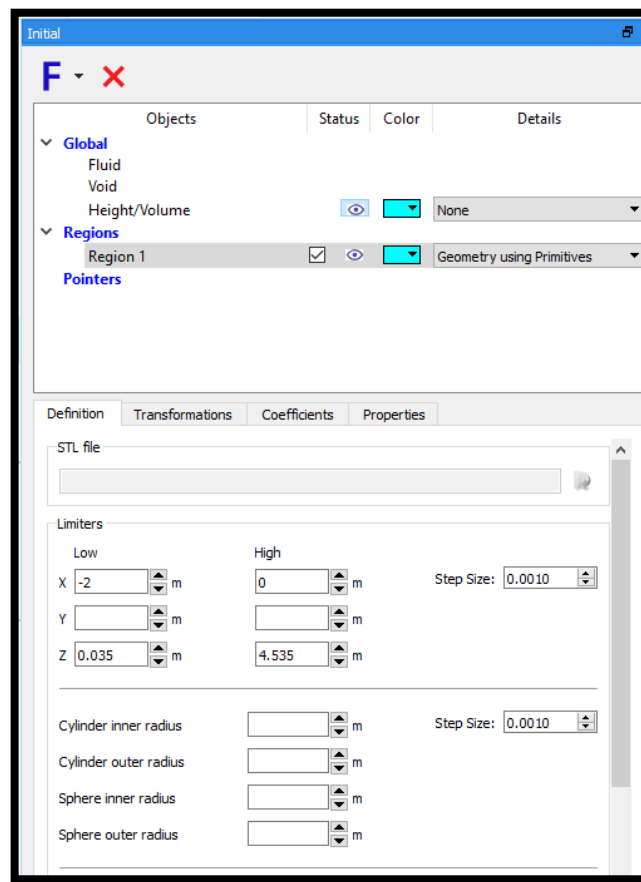
Figura 8



o) Posterior a tener la geometría, es necesario cargar el volumen inicial de agua.

Para cargar el volumen nos dirigimos a la sección de región dentro de Initial y creamos una región, los límites de la región usados para esta obra hidráulica son las siguientes: $X_{low} = -2$, $X_{high} = 0$, $Z_{low} = 0.035$, $Z_{high} = 4.535$.

Figura 9



p) Terminada la configuración del modelo se procede a iniciar la simulación

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Ejemplo de práctica N° 6

Hoja de resultados

ASIGNATURA: Mecánica de Fluidos e Hidráulica Aplicada

TEMA: Resistencia al Flujo en Conductos

NOMBRE:

FECHA:

GRUPO:

DATOS:

De entrada

Tabla 1

Tubería

Nivel aguas arriba (m)	Z1=	4.50
Nivel aguas abajo (m)	Z2=	0.2
Rugosidad absoluta-acero(mm)	$\varepsilon =$	0.046
Espesor(m)	e=	0.20
Longitud total (m)	l=	17.47
Diámetro 1(m)	D1=	0.2
Diámetro 1(m)	D2=	0.1
Pendiente (%)	i%=	3
Resultados		Teórico
Número de Reynolds	Re=	224580.71
Pérdida por entrada(m)	h1=	0.537

Pérdida por cambio de dirección 90°(m)	h2=	0.359
Pérdida por cambio de dirección 153°(m)	h3=	0.612
Pérdida por reducción(m)	h4=	0.173
Pérdida por longitudinales (m)	h5=	1.561
Carga de velocidad(m)	h6=	1.056
Velocidad-D1 (m/s)	V1=	1.137
Velocidad-D2 (m/s)	V2=	4.55
Caudal(m3/s)	Q=	0.036

De laboratorio:

Tabla 1

Tubería

Nivel aguas arriba (m)	Z1=	4.50
Nivel aguas abajo (m)	Z2=	0.2
Rugosidad absoluta-acero(mm)	ε =	0.046
Espesor(m)	e=	0.20
Longitud total (m)	l=	17.47
Diámetro 1(m)	D1=	0.2
Diámetro 1(m)	D2=	0.1
Pendiente (%)	i%=	3
Resultados		Teórico
Número de Reynolds	Re=	556100
Pérdida por entrada(m)	h1=	0.202

Pérdida por cambio de dirección 90°(m)	h2=	0.135
Pérdida por cambio de dirección 153°(m)	h3=	0.23
Pérdida por reducción(m)	h4=	0.065
Pérdida por longitudinales (m)	h5=	0.586
Carga de velocidad(m)	h6=	0.397
Velocidad-D1 (m/s)	V1=	2.789
Velocidad-D1 (m/s)	V2=	9.011
Caudal(m³/s)	Q=	0.07

1. CÁLCULOS

$z_1 := 4.5 \text{ m}$	Nivel de aguas arriba
$z_2 := 0.6 \text{ m}$	Altura del orificio desde el nivel de referencia hasta el centro del orificio
$z_3 := 0.20 \text{ m}$	Nivel de aguas abajo
$i := 3\%$	Pendiente de la tubería
$\varepsilon := 0.046 \text{ mm}$	Rugosidad absoluta acero
$x := 15 \text{ m}$	Distancia en el eje X de la tubería
$y := x \cdot i = 0.45 \text{ m}$	Distancia en el eje Y de la tubería
$D1 := 0.2 \text{ m}$	Diametro 1 de la tubería
$D2 := 0.1 \text{ m}$	Diametro 2 de la tubería

Perdidas locales:

Por entrada:

$$+ \quad k1 := 0.5 + 0.3 \cdot \cos(\theta) + 0.2 \cdot \cos(\theta)^2 = 0.509$$

$$h1 := \frac{k1 \cdot v^2}{2 \cdot g}$$

Por cambio de dirección:

$$z := \frac{\varepsilon}{D1} = 0.00023 \quad R := 0.3 \text{ m} \quad \frac{R}{D1} = 1.5$$

$$\Theta := 90^\circ$$

$$cc := 0.17 \quad \text{Por ábaco}$$

$$k2 := cc \cdot \frac{\Theta}{90^\circ}$$

$$k2 = 0.17$$

$$kt2 := k2 \cdot 2 = 0.34$$

$$h2 := \frac{kt2 \cdot v^2}{2 \cdot g}$$

Por ábaco

$$R := 0.3 \text{ m}$$

$$\frac{R}{D1} = 1.5$$

$$cc := 0.17$$

$$\Theta := 90^\circ + \operatorname{atan}\left(\frac{4}{2}\right)$$

$$\Theta = 153.435^\circ$$

$$k3 := cc \cdot \frac{\Theta}{90^\circ}$$

$$k3 = 0.29$$

$$kt3 := k3 \cdot 2 = 0.58$$

$$h3 := \frac{kt3 \cdot v^2}{2 \cdot g}$$

Por salida reducción:

$$+ \quad k4 := 0.164$$

$$h4 := \frac{k4 \cdot v^2}{2 \cdot g}$$

Cáculo de la velocidad:

$$v2 := \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot (h1 - h2)}{1 + \frac{k6 \cdot l}{D1} + k1 + k2 + k3 + k4}} = 4.548 \frac{m}{s}$$

$$Q2 := \frac{\pi \cdot D2^2}{4} \cdot v2 = 0.036 \frac{m^3}{s}$$

$$v1 := Q2 = \frac{\pi \cdot D1^2}{4} \cdot v1 \xrightarrow{\text{solve, } v1} \frac{1.1368913346308329229 \cdot m^3}{m^2 \cdot s}$$

$$v1 = 1.13689 \frac{m}{s}$$

$$Q1 := \frac{\pi \cdot D1^2}{4} \cdot v1 = 0.036 \frac{m^3}{s}$$

$$v := 4.55 \frac{m}{s}$$

$$h1 \rightarrow \frac{0.254587895438685095 \cdot v^2}{g} = 0.537 \text{ m}$$

Por entrada:

$$h2 \rightarrow \frac{0.17 \cdot v^2}{g} = 0.359 \text{ m}$$

Por cambio de dirección
90°:

$$h3 \rightarrow \frac{0.289821569998852725 \cdot v^2}{g} = 0.612 \text{ m}$$

Por cambio de dirección
153°:

$$h4 \rightarrow \frac{0.082 \cdot v^2}{g} = 0.173 \text{ m}$$

Por reducción

$$h5 \rightarrow \frac{0.7383718105331298322728 \cdot v^2 \cdot m}{g \cdot m} = 1.559 \text{ m}$$

Longitudinales:

$$h6 := \frac{v^2}{2 \cdot g} = 1.056 \text{ m}$$

Carga de velocidad

Cálculo del caudal:

$$Q1 := \frac{\pi \cdot D1^2}{4} \cdot v = 0.135 \frac{m^3}{s}$$

$$v2 := Q1 = \frac{\pi \cdot D2^2}{4} \cdot v2 \xrightarrow{\text{solve}, v2} \frac{17.156465442855882782 \cdot m^3}{m^2 \cdot s}$$

$$v2 = 17.15647 \frac{m}{s}$$

$$Q2 := \frac{\pi \cdot D2^2}{4} \cdot v2 = 0.135 \frac{m^3}{s}$$

Cálculo de la carga piezométrica en el punto 1:

$$z_4 := 0.28 \text{ m}$$

$$l1 := 5 \text{ m}$$

Usando la ecuación de continuidad se tiene que la carga de presión en el punto 1 es :

+

+

$$j1 = 2.002 \text{ m}$$

Cálculo de la carga piezométrica en el punto 2:

$$z_5 := 0.25 \text{ m}$$

$$l2 := l - 1.5 \text{ m}$$

+

Usando la ecuación de continuidad se tiene que la carga de presión en el punto 2 es :

$$j2 = 0.261 \text{ m}$$

2. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES:

- La geometría planteada para la tubería requirió de una serie de mallados con diferentes tamaños de celdas desde 0.1, 0.05, 0.025 y 0.01, para darle un cierto grado de detalle y obtener unos resultados lo más cercanos a los obtenidos con la teoría de la hidráulica básica.
- Con el valor del caudal igual a $0.07 \text{ m}^3/\text{s}$ obtenido con el programa Flow 3D, existe cierta diferencia con el caudal teórico de $0.036 \text{ m}^3/\text{s}$, el motivo de estos resultados se los puede relacionar con la calidad de detalle de la geometría.

RECOMENDACIONES:

- Para la obtención de resultados más próximos a la realidad, es requerido que el modelo sea lo más parecido a la realidad, lo que nos lleva a realizar modelos un tamaño de celda para el mallado más reducido para darle un mayor detalle.

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Práctica N° 6

Hoja de resultados

ASIGNATURA: Mecánica de Fluidos e Hidráulica Aplicada

TEMA: Resistencia al Flujo en Conductos

NOMBRE:

FECHA:

GRUPO:

ACTIVIDADES:

- 1.1. Con la geometría presentada de la tubería, cambiar el nivel aguas arriba de $Z_1=3.00\text{m}$. Presentar el caudal de salida, las pérdidas de carga en toda la tubería.

2. DATOS:

De entrada

Tabla 1

Tubería

Nivel aguas arriba (m)	$Z_1=$	
Nivel aguas abajo (m)	$Z_2=$	
Rugosidad absoluta-acero(mm)	$\varepsilon =$	
Espesor(m)	$e=$	
Longitud total (m)	$l=$	
Diámetro 1(m)	$D_1=$	
Diámetro 1(m)	$D_2=$	
Pendiente (%)	$i\%=$	
Resultados		Teórico

Número de Reynolds	Re=	
Pérdida por entrada(m)	h1=	
Pérdida por cambio de dirección 90°(m)	h2=	
Pérdida por cambio de dirección 153°(m)	h3=	
Pérdida por salida(m)	h4=	
Pérdida por longitudinales (m)	h5=	
Carga de velocidad(m)	h6=	
Velocidad-D1 (m/s)	V1=	
Velocidad-D1 (m/s)	V2=	
Caudal(m³/s)	Q=	

De laboratorio:

Tabla 1

Tubería

Nivel aguas arriba (m)	Z1=	
Nivel aguas abajo (m)	Z2=	
Rugosidad absoluta-acero(mm)	ε =	
Espesor(m)	e=	
Longitud total (m)	l=	
Diámetro 1(m)	D1=	
Diámetro 1(m)	D2=	
Pendiente (%)	i%=	
Resultados		Teórico

Número de Reynolds	Re=	
Pérdida por entrada(m)	h1=	
Pérdida por cambio de dirección 90°(m)	h2=	
Pérdida por cambio de dirección 153°(m)	h3=	
Pérdida por salida(m)	h4=	
Pérdida por longitudinales (m)	h5=	
Carga de velocidad(m)	h6=	
Velocidad-D1 (m/s)	V1=	
Velocidad-D1 (m/s)	V2=	
Caudal(m³/s)	Q=	

3. CÁLCULOS

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

El uso de la simulación numérica, es una herramienta extremadamente útil en el diseño de estructuras hidráulicas, nos permite ingresar el diseño total de una estructura con sus dimensiones reales y observar el comportamiento de la misma, el uso del software Flow 3D, mostro que la representación de las estructuras hidráulicas como: el orificio de pared delgada y pared gruesa, vertederos de pared gruesa, pared delgada y tipo WES, presiones hidrostáticas sobre superficies planas y curvas, es fiable en el procesamiento de datos y en cada una de las estructuras simuladas se representó de manera adecuada su comportamiento y un cierto grado de concordancia con los resultados obtenidos según la teoría de la hidráulica básica.

Para el modelado de los orificios de pared delgada, se requirió el uso de varios mallados, el más característicos fue el dado al orificio con un mallado de 0.01m, para tener un buen detalle de la geometría y tener resultados más próximos a los obtenidos con la base teórica. Lo resultados del caudal para el orificio de pared delgada tiene un valor de $0.033\text{m}^3/\text{s}$ aplicando la teoría básica de la hidráulica y con el uso del Flow 3D se obtuvo un valor de $0.03302\text{ m}^3/\text{s}$, lo que verifica que el software nos brinda una representación real de un orificio de pared delgada.

El modelo de un orificio de pared gruesa arrojó los siguientes resultados: empleando la teoría de la hidráulica básica el valor del caudal es de $0.21\text{m}^3/\text{s}$ y con el uso del Flow 3D se tiene un valor de $0.209\text{ m}^3/\text{s}$, estos dos valores confirman que el modelo de realizado por el software representa adecuadamente el comportamiento de un orificio de pared gruesa con las características propuestas.

Para la simulación de los vertederos de pared delgada y gruesa se presentó una cierta facilidad al colocar un mallado general de 0.10m y un mallado específico de 0.05m, pero para el vertedero tipo WES, por su geometría se empleó un mallado más

reducido para tener una geometría más definida en la parte de la corona, el mallado de esta sección es de 0.05 y el mallado del resto de la estructura es de 0.1m.

Los valores correspondientes al caudal para un vertedero de pared ancha, vertedero de pared delgada y vertedero tipo WES son los siguientes respectivamente: $1.096 \text{ m}^3/\text{s}$, $1.415 \text{ m}^3/\text{s}$ y $6.22 \text{ m}^3/\text{s}$ y los valores de caudal con el uso del Flow 3D son: $1.096 \text{ m}^3/\text{s}$, $1.411 \text{ m}^3/\text{s}$, $6.15 \text{ m}^3/\text{s}$. Los valores presentados dan constancia que el Flow 3D representa adecuadamente estas estructuras hidráulicas y que la teoría de la hidráulica básica es realmente práctica.

El modelo de canal con compuertas presenta los siguientes resultados: caudal $0.536 \text{ m}^3/\text{s}$ y alturas de agua: primera compuerta $y_1: 1.6\text{m}$, segunda compuerta $y_2: 1.11\text{m}$, estos valores son obtenidos en base a los fundamentos teóricos. Los valores que se presentan en programa Flow 3D son los siguientes: caudal: $0.755 \text{ m}^3/\text{s}$, alturas de agua: $y_1: 1.584\text{m}$, segunda compuerta $y_2 = 1.13\text{m}$. Los valores correspondientes a la altura del agua son sumamente cercanos a diferencia del valor del caudal, para obtener valores cercanos a la realidad es requerido una calibración más precisa del modelo numérico.

Los valores obtenidos de los modelos numéricos de presiones hidrostáticas sobre superficies planas y curvas son los siguientes: superficie plana vertical con una presión de 44120.781 Pa , superficie plana inclinada con una presión de 43117.719 Pa y superficie curva con una presión de 43126.719 Pa . Con estos valores se verificó el valor de la altura del agua, para todas las superficies se planteó una altura de agua de 4.5m . Los valores de presión mencionados llevados a KPa da como resultado una altura de agua de: 43.12 KPa , 44.12 KPa , 43.13 KPa que corresponden a una superficie plana inclinada, superficie plana vertical y superficie curva respectivamente.

En el modelo numérico que corresponde a la resistencia al flujo en conductos presurizados presenta los siguientes resultados para el caudal un valor de $0.07 \text{ m}^3/\text{s}$, pérdidas locales y longitudinales $h_l=1.217\text{m}$, y los valores obtenidos con la base teórica son: caudal $0.036 \text{ m}^3/\text{s}$, pérdidas locales y longitudinales $h_l=3.24$. La variación presentada en este caso requiere una calibración más detallada para que los resultados sean lo más parecidos al comportamiento real.

El manual sobre el uso del programa Flow 3D, satisface al estudiante en cierta medida sus ansias por conocimiento, este manual presenta de manera leve y resumida las capacidades que tiene el programa, para una comprensión mucho mayor, es realmente necesario una capacitación más extensa y explicada por un personal altamente calificado, esto no desmerita que los conocimientos adquiridos sean pocos, sino que es solo una introducción al manejo del programa Flow 3D.

RECOMENDACIONES

Para realizar el modelado de cualquier estructura hidráulica, se recomienda que se realice una respectiva inspección en la geometría a simular a ser usada, para no obtener resultados erróneos.

Es recomendable establecer un mallado que cubra en su totalidad la geometría, el mallado que sobrepase la geometría influye directamente en tiempo de cálculo, además si en la creación mallados anidados, no existe una relación adecuada, las diferencias creadas por este motivo, producen aumento en el tiempo de cálculo y pueden crear bucles sin solución.

Para expandir el conocimiento de los estudiantes es recomendable, que se impartan cursos para el uso de Flow 3D, con su respectiva evaluación y comprobante de haber recibido el curso.

REFERENCIAS

- Anguisa, M., & Maza, X.(2012). *Estudio de los procesos de flujo en una obra de captación mediante experimentación de un modelo físico de escala reducida*. [Tesis de grado,Universidad de Cuenca]. Archivo Digital
<http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/775/1/ti901.pdf>
- Arreaga, W., & Mantilla, D. (2016). *Determinación de coeficientes de descarga en orificios circulares, de pared delgada en descarga libre para diferentes diámetros en modelos físicos*. [Tesis de grado,Universidad de Guayaquil]. Archivo Digital
http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/15855/1/ARREAGA_WILLIAM_MANTILLA_DIEGO_TRABAJO_TITULACIÓN_HIDRÁULICA_DICIEMBRE_2016.pdf
- Arrecis, J., (2018). *Evaluación de las características del perfil tipo Creager*. [Tesis de grado,Universidad de San Carlos de Guatemala]. Archivo Digital
<http://www.repositorio.usac.edu.gt/11372/1/Jared%20Alexander%20V%C3%A9lez%20Arrecis.pdf>
- Barba, C. A. B. (2020). *Modelación numérica (CDF) del flujo combinado superior e inferior en una compuerta plana con el program Flow 3D*. [Tesis de Maestría,Escuela Politécnica Nacional]. Archivo Digital
- Bureau of Reclamation, (2007). Traducida por: Martínez, M., Batanero, A., Martínez, G., Martínez, O., Gonzáles, O.: *Diseño de Presas Peuqueñas*(3^{ra} ed). España: Editorial Bellisco.
- Calderon, F. V., Cazares, L. G., & Camacho, F. F. (2017). Dificultades conceptuales para la comprensión de la Ecuación de Bernoulli. *Revista Eureka Sobre Enseñanza y Divulgación de Las Ciencias*, 14(12), 339–352.
- Fernández, J.(2012).*Técnicas numéricas en ingeniería de fluido: Introducción a la dinámica de fluidos computacional (CFD) por el método de volúmenes finitos*.Barcelona , España.:Editorial Reverté, S.A.
- Flow Science. (2008). *Manual de Flow 3D*.
https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwie6p3mpfTsAhWJpFkKHRWpAHcQFjADegQIBhAC&url=https%3A%2F%2Fwww.researchgate.net%2Fprofile%2Fali_Agha7%2Fpost%2FSomebody_can_recommend_me_the_tutorials_pdf_video_of_Flow_3d_v101_software%2Fattachment%2F59d6285e79197b8077986bf3%2FAS%253A330000659173377%25401455689696420%2Fdownload%2F%255BFlow_Science%255D_FLOW-3D_V9.3_User_Manual%252C_Volume_1%2528BookZZ.org%2529.pdf&usq=AOvVaw3ALDHf9jsqn-wDYnhAXNB1
- Intituto Internacional de la Investigación de Tecnología Educativa INITE. (2006). *Ecuaciones fundamentales de la hidráulica*.
https://gc.scalahed.com/recursos/files/r144r/w226w/Problema_2/Problema2_Hidraulica_Ecuaciones.pdf
- Inciso, C. (2016). *Análisis comparativo de las descargas en orificios y boquillas en laboratorio de Hidráulica de un UPN, Cajamarca*. [Tesis de grado,Universidad Privada del Norte, Cajamarca. Perú]. Archivo Digital
<https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/9980/Inciso%20Pajares%20%20Carlos%20Jonathan.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Gutiérrez, Y. (2016). *Modelación numérica computacional del diseño de un vertedor de pared delgada de sección compuesta*. [Tesis de grado, Universidad Central Marta Abreu de las Villas]. Archivo Digital
<https://dspace.uclv.edu.cu/bitstream/handle/123456789/6671/Tesis%20Yunior%20Gutierrez.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Guncay, K. (2017). *Estudio del desempeño hidráulico del canal multipropósito del laboratorio de hidráulica y dinámica de fluidos LH&DF del campus Balzay*. [Tesis de grado, Universidad de Cuenca]. Archivo Digital
- Jiménez, J., Jiménez J. (2018). *Elaboración del modelo físico y la guía metodológica para la práctica: vertederos de pared delgada, de la asignatura Mecánica de Fluidos de la Universidad de Azuay*. [Tesis de grado, Universidad de Cuenca]. Archivo Digital
<http://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/8371/1/14091.pdf>
- Monroy, M. (2010). *Medidores De Flujo En Canales Abiertos*. [Tesis de grado, Universidad de San Carlos de Guatemala]. Archivo Digital
http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_3165_C.pdf
- Penagos, D. F. R. (2012). *Diseño y modelación de las uniones soldadas de las compuertas planas para presas*. [Tesis de posgrado, Universidad Libre de Colombia]. Archivo Digital
<https://core.ac.uk/download/pdf/198447125.pdf>
- Sotelo, A. (1997). *Hidráulica General, Volumen 1 (18^{va} ed)*. Balderas 95, México, D.F.: Editorial Limusa, S.A.
- Vega, D. (2004). *Vertederos de pared delgada*. Centro Andino para la gestión y uso del agua. Cochabamba.
https://www.academia.edu/6129654/Serie_T%C3%A9cnica_Agua_y_Suelo_N_1_VERTEDEROS_DE_PARED_DELGADA_Rectangular_y_Triangular
- Ven Te Chow. (1994). *Hidráulica de canales abiertos*. Santafé de Bogotá, Colombia.: Editorial Martha Edna Suárez R.